

T.C.
BİTLİS EREN ÜNİVERSİTESİ VE ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

T/M YÖNTEMİYLE ÜRETİLEN KARBÜR KATKILI Cu ALAŞIMLARININ AŞINMA
DAYANIMLARININ İNCELENMESİ

Mevlan YÜREK

Ağustos 2022

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

T/M YÖNTEMİYLE ÜRETİLEN KARBÜR KATKILI Cu ALAŞIMLARININ AŞINMA
DAYANIMLARININ İNCELENMESİ

Hazırlayan
Mevlan YÜREK

Danışman
Prof. Dr. Serkan ÖZEL

Jüri Üyeleri
Prof. Dr. Serkan ÖZEL
Dr. Öğr. Üyesi Tayfun ÇETİN
Dr. Öğr. Üyesi Yunus SAYAN

Ağustos 2022

ONAY

Mevlan YÜREK tarafından hazırlanan “**T/M Yöntemiyle Üretilen Karbür Katkılı Cu Alaşımlarının Aşınma Dayanımlarının İncelenmesi**” adlı tez çalışması 26/08/2022 tarihinde yapılan sınavla aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile Bitlis Eren Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Prof. Dr. Serkan ÖZEL

(Başkan) (Danışman)

Dr. Öğr. Üyesi Tayfun ÇETİN

(Üye)

Dr. Öğr. Üyesi Yunus SAYAN

(Üye)

Bu tezin kabulü, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun .../.../...gün ve .../... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Doç. Dr. Mehmet Bakır ŞENGÜL

Enstitü Müdürü

BİTLİS EREN ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS ETİK BEYANI

Bitlis Eren Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre hazırlamış olduğum **“T/M Yöntemiyle Üretilen Karbür Katkılı Cu Alaşımlarının Aşınma Dayanımlarının İncelenmesi”** adlı tezimin özgün bir çalışma olduğunu, tez hazırlanırken tüm aşamalarda bilimsel etik ilkelerine uygun davrandığımı, tez kapsamında sunulan tüm verileri bilimsel etik ilkelerine uygun elde ettiğimi, tezde faydalandığım tüm eserlere atıf yaptığımı ve kaynaklar kısmında bu eserleri gösterdiğimi beyan ederim.26/08/2022

Mevlan YÜREK



ÖZET

T/M YÖNTEMİYLE ÜRETİLEN KARBÜR KATKILI Cu ALAŞIMLARININ AŞINMA DAYANIMLARININ İNCELENMESİ

Mevlan YÜREK

Yüksek Lisans Tezi

Bitlis Eren Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Serkan ÖZEL

Ağustos 2022, 56 sayfa

Bu çalışmada T/M üretim yöntemiyle MMK numuneler üretilmiştir. Yapılan çalışmada matris malzemesi olarak Cu tozuna ağırlıkça %10 oranında Sn tozu karıştırılmıştır. Cu+%10Sn matris toz karışımına %2, %4, %6 oranlarda B₄C takviye tozu karıştırılmıştır. Karıştırma işleminden sonra tozlar 500 MPa basınçla tek yönlü preslenerek numuneler elde edilmiştir. İki farklı sinterleme sıcaklığı belirlendiği için her toz karışımından iki adet olmakla toplamda sekiz adet numune preslenmiştir. Elde edilen kompakt numunelerin ilk dört serisi 600 °C’de, diğer dört seri ise 700 °C’de sinterlenmiştir. Sinterlenmiş numunelerin mikro yapı incelemeleri için zımparalanması ve parlatılması yapılmıştır. Parlatma işleminden sonra numuneler dağlanmıştır. Daha sonra numunelerin optik mikroskopta mikroyapıları incelenmiş farklı büyütme oranlarında görüntüler alınmıştır. Numunelerin yapısında bulunan elementleri ve sıcaklıkla oluşan bileşikleri tanımlamak için SEM görüntüleri alınmış, EDS ve XRD analizleri gerçekleştirilmiştir. Son olarak sertlik ölçümleri ve aşınma deneyi yapılarak deneysel çalışmalar sonlandırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre 600 °C ve 700 °C’de sinterlenmiş numuneler karşılaştırılarak kıyaslanmıştır. Neticede sıcaklığın artışıyla yapı içerisinde çökeltilerin oluşumu sertlikte ve aşınma direncinde artışa neden olmuştur. En yüksek sertlik değeri ve aşınma direnci 700 °C’de sinterlenmiş Cu+%10Sn+%6 B₄C numunesinde tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Aşınma, B₄C, Cu Kompozitler, Mikroyapı, Toz Metalurjisi.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE WEAR RESISTANCE OF CARBIDE DOUBLED Cu ALLOYS MANUFACTURED BY T/M METHOD

Mevlan YÜREK

Master Thesis

Bitlis Eren University Graduate Education Institute

Department of Machine Engineering

Advisor: Prof. Dr. Serkan ÖZEL

August 2022, 56 pages

In this study, MMK samples were produced by T/M production method. In the study, 10% by weight of Sn powder were mixed with Cu powder as matrix material. 2%, 4%, 6% B₄C reinforcement powder was mixed into the Cu+10%Sn matrix powder mixture. After mixing, the samples were obtained by pressing the powders unidirectionally with 500 MPa pressure. Since two different sintering temperatures were determined, a total of eight samples were pressed, two from each powder mixture. The first four grinding compact samples obtained were sintered at 600 °C and the other four series at 700 °C. Sanding and polishing of the sintered samples were carried out for microstructure investigations. After polishing, the samples were etched. Then, the microstructures of the samples were examined under an optical microscope and images were taken at different magnifications. SEM images were taken, in addition, EDS and XRD analyzes were performed to identify the elements in the structure of the samples conducted and the compounds formed by temperature. Finally, the hardness measurements and wear test were made and the experimental studies were completed. The results of the samples sintered at 600 °C and 700 °C were compared and with each other compared. As a result, the formation of the liquid phase in the structure with the increase in temperature caused an increase in hardness and wear resistance. The highest hardness value and wear resistance were determined in Cu+10%Sn+6% B₄C sample sintered at 700 °C.

Keywords: Wear, B₄C, Cu Composites, Microstructure, Powder Metallurgy.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışması esnasında tezin konusunun belirlenmesinden başlayarak tezin her aşamasında engin bilgi ve deneyimlerini benden esirgemeyen değerli danışman hocam sayın Prof. Dr. Serkan ÖZEL’e şükranlarımı sunuyorum.

Tezimin hazırlanma sürecinde desteğini esirgemeyen yüksek lisans sınıf arkadaşım Tural HAMİDLİ’ye teşekkürü bir borç bilirim.

Varlığıyla her an beni mutlu eden, desteklerini bir an olsun esirgemeyen sevgili eşim Belgin YÜREK’e teşekkür ederim.

Eğitim hayatımın bu günlere gelmesinde büyük emekleri olan merhum babam ve annemi rahmetle yâd ediyorum.



ÖNSÖZ

İlerleyen teknoloji, gelişen sanayi üstün nitelikli malzeme üretimi gereğini zorunlu kılmıştır. Kompozit malzeme teknolojisindeki gelişmeler bu ihtiyacı önemli ölçüde karşılamaktadır. Bakır matrisli kompozit malzemeler teknolojinin gelişmesi ve üstün özellikli malzemelere ihtiyaçların artmasıyla son yıllarda geniş kullanım yelpazesine sahip olmuştur.

Bu tez çalışmasında toz metalurjisi yöntemiyle Cu-%10Sn metal matrisine farklı oranlarda B₄C tozu takviye edilerek toz metal numuneler üretilmiştir. Numunelerin mekaniksel özelliklerini belirlemek için mikrosertlik ve aşınma deneyleri yapılarak elde edilen sonuçlara göre numuneler arasında değerlendirmeler yapılmıştır.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
1.GİRİŞ	1
1.1. Kompozit Malzemeler.....	3
1.1.1. Kompozitlerin Tanımlanması ve Özellikleri	3
1.1.2. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması	5
1.1.2.1. Polimer Matrisli Kompozitler(PMK).....	5
1.1.2.2. Seramik Matrisli Kompozitler(SMK).....	6
1.1.2.3. Metal Matrisli Kompozitler(MMK).....	6
1.1.2.4. Bakır Matrisli Kompozitler.....	8
1.2. Bakır ve Bakır Alaşımları	9
1.2.1. Cu-Sn Alaşımları	12
1.3. Bor Karbür (B ₄ C)	14
1.4. Toz Metalurjisi	15
1.4.1. Metal Toz Üretimi	16
1.4.2. Karıştırma	16
1.4.3. Presleme	17
1.4.3.1. Tek Yönlü Presleme.....	17
1.4.3.2. Çift Yönlü Presleme.....	18
1.4.4. Sinterleme	18
1.4.5. Toz Metalurjisinin Avantaj ve Dezavantajları	19
1.5. Aşınma	20
1.5.1. Aşınma Tipleri	20
1.5.1.1. Abrasif Aşınma.....	21

1.5.1.2. Adhezif Aşınma	22
1.5.1.3. Yorulma Aşınması	22
1.5.1.4. Sürtünme Aşınması	23
1.5.1.5. Erozif Aşınma	24
1.5.1.6. Korozyon ve Oksidasyon Aşınması	23
2. MATERYAL VE YÖNTEM	25
2.1. Karışım Tozların Hazırlanması	25
2.2. Tozların Preslenmesi	25
2.3. Numunelerin Sinterlenmesi	26
2.4. Metalografik İncelemeler	26
2.5. Sertlik Ölçümleri	28
2.6. Aşınma Deneyi	29
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	30
3.1. Kullanılan Tozların Karakterizasyonu	30
3.2. 600 C de Sinterlenen Numunelerin Karakterizasyonu	33
3.3. 700 °C de Sinterlenmiş Numunelerin Karakterizasyonu	40
3.4. Mikrosertlik İncelemesi	48
3.5. Aşınma Deney Sonuçları	49
4. SONUÇ	51
5. KAYNAKLAR	53
ÖZGEÇMİŞ	56

ÇİZELGELER DİZİNİ

ÇİZELGE

Sayfa

1.1. MMK içinde kullanılan bazı takviye bileşenlerinin özellikleri	9
1.2. Dövme ve döküm bakır alaşımları.....	11
2.1. Hazırlanan toz karışımları	25



ŞEKİLLER DİZİNİ

ŞEKİL

Sayfa

1.1. Takviye malzemesinin geometrisine göre MMK yapıları a) sürekli fiber takviyeli, b) kısa fiber takviyeli, c) partikül takviyeli.....	7
1.2. Bakır-Kalay denge diagramı.....	13
1.3. Bor Karbürün kristal yapısı	15
1.4. Toz metalurjisinin yüksek derecede esneklik örneği.....	16
1.5. Metal kalıpta tek yönlü sıkıştırma	17
1.6. Metal kalıpta çift yönlü sıkıştırma.....	18
1.7. Sinterleme işlemi	19
1.8. Abrasif aşınma.....	21
1.9. Adheziv aşınma	22
1.10. Yorulma aşınması	23
1.11. Korozyon aşınması	24
2.1. Sinterleme fırını.....	26
2.2. Zımparalama ve Parlatma cihazı	27
2.3. Nikon Eclipse MA 100 optik mikroskop.....	27
2.4. Qness Q10M markalı Mikro Sertlik Cihazı.....	28
2.5. Zeiss marka taramalı elektron mikroskobu	28
2.6. Rigaku marka RadB model XRD cihazı	29
2.7. Abrasiv aşınma cihazı.....	29
3.1. a) Cu tozundan alınan SEM fotorafi, b) 1 nolu EDS analizi	30
3.2. Sn tozundan alınan a) SEM fotoğrafı, b) 1 nolu EDS analizi.....	31
3.3. B ₄ C tozundan alınan a) SEM fotoğrafı, b) 1 nolu EDS analizi	32
3.4. 600 °C’de sinterlenmiş Cu-Sn esaslı numuneden alınan optik mikroyapı resimleri	33
3.5. 600 °C’de sinterlenmiş Cu-Sn numunesinden alınan a) SEM fotoğrafı, b) 1 nolu EDS analizi	34
3.6. 600 °C’de sinterlenmiş Cu-Sn + %2 B ₄ C esaslı numuneden alınan optik mikroyapı resimleri	35
3.7. 600 °C’de sinterlenmiş Cu-Sn + %4 B ₄ C esaslı numuneden alınan optik mikroyapı resimleri	36

3.8. 600 °C’de sinterlenmiş Cu-Sn + %6 B ₄ C esaslı numuneden alınan optik mikroyapı resimleri	37
3.9. 600 °C’de sinterlenmiş Cu-Sn+%6 B ₄ C numunesinden alınan a) SEM fotoğrafı, b) 1 nolu EDS analizi c) 2 nolu EDS analizi.....	39
3.10. Cu-Sn+%6 B ₄ C toz karışımından elde edilen ve 600 °C’de sinterlenmiş numuneden alınan XRD analiz sonucu	39
3.11. 700 °C’de sinterlenmiş Cu-Sn esaslı numuneden alınan optik mikroyapı resimleri	41
3.12. 700 °C’de sinterlenmiş Cu+%10Sn numunesinden alınan a) SEM fotoğrafı, b) 1 nolu EDS analizi c) 2 nolu EDS analizi d) 3 nolu EDS analizi	42
3.13. 700 °C’de sinterlenmiş Cu-Sn + %2 B ₄ C esaslı numuneden alınan optik mikroyapı resimleri	43
3.14. 700 °C’de sinterlenmiş Cu-Sn + %4 B ₄ C esaslı numuneden alınan optik mikroyapı resimleri	44
3.15. 700 °C’de sinterlenmiş Cu-Sn + %6 B ₄ C esaslı numuneden alınan optik mikroyapı resimleri	45
3.16. 700 °C’de sinterlenmiş Cu+%10Sn+%6B ₄ C numunesinden alınan a) SEM fotoğrafı, b) 1 nolu EDS analizi c) 2 nolu EDS analizi	47
3.17. Cu-Sn+%6 B ₄ C toz karışımından elde edilen ve 700 °C’de sinterlenmiş numuneden alınan XRD analiz sonucu	47
3.18. Numunelerin mikrosertlik grafiği	48
3.19. Farklı sinterleme sıcaklıkları ve % B ₄ C ilave edilen numunelere ait aşınma miktarı grafiği	49

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

°C	Derece celsius
%	Santigrad derece
Al	Aliminyum
B ₄ C	Bor karbür
C	Karbon
Cu	Bakır
EDS	Enerji Dağılımı Spektrometresi
GPa	Giga Pascal
MÖ	Milattan önce
Mg	Magnezyum
MMK	Metal matrisli kompozit
Ni	Nikel
O	Oksijen
PMK	Polimer matrisli kompozit
SiC	Silisyum karbür
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
SMK	Seramik matrisli kompozit
Sn	Kalay
Ti	Titanyum
TiC	Titanyum karbür
T/M	Toz metalurjisi
Zn	Çinko

1.GİRİŞ

İlerleyen teknoloji, gelişen sanayi üstün nitelikli malzeme üretimi gereğini zorunlu kılmıştır. Kompozit malzeme teknolojisindeki gelişmeler bu ihtiyacı önemli ölçüde karşılamaktadır[1]. Teknolojinin hızla gelişmesi ile birlikte birçok yeni malzeme çeşidi geliştirilmekte ve kullanılmaktadır. Geliştirilen bu malzemeler, günümüz şartlarına daha uygun olmakta ve kullanımları da yaygınlaşmaktadır [2]. Son yıllarda, kompozitler havacılık endüstrisinde, elektronikte, seramikte, biyoteknolojide, nanoteknolojide, endüstriyel uygulamalar için yüksek sıcaklık malzemeleri olarak ve otomobil endüstrilerinde kullanılmaktadır. Kompozitler, belirli bir endüstrinin teknolojik talebine uygun işleme yöntemleriyle üretilir; örneğin, elektronikte üretilen ısı, çelik ve diğer alaşımlardan farklı olarak, yeni ısı emici malzemeler geliştirilerek üstesinden gelinebilir[3]. Genel anlamda kompozit malzeme iki veya daha fazla farklı malzemelerin bir araya getirilmesiyle oluşturulan malzeme olarak tanımlanabilir. İnsanlık tarihine baktığımızda kompozit malzemelerin tarihçesi çok eskilere dayanmaktadır. Örneğin ağaç, kemik ve diş gibi doğal kompozit malzemeler, insanlığın var oluşuyla birlikte kullanılmıştır. Belki de insanlar ilk kez saman ve çamuru karıştırıp kerpiç tuğlaları ürettiklerinde ilk kompozit malzemeleri üretmişlerdi.[4] Kompozit malzemeleri takviye fazının şekline göre sürekli ve süreksiz takviyeli kompozit olmak üzere ikiye ayırabiliriz. Sürekli takviye malzemeleri süreksiz takviyelere göre pahalı ve üretimi zor olan malzemelerdir. Buna karşılık sürekli takviye malzemeleri ile takviye edilmiş kompozit malzemeler süreksiz takviyeli kompozit malzemelerden daha üstün özelliklere sahiptir. Bu nedenle sürekli takviye malzemesi ile takviye edilmiş kompozit malzemeler yüksek mukavemetin kaçınılmaz olduğu ve maliyetin önemli olmadığı uzay ve havacılık sanayiinde kullanılmaktadır. Süreksiz takviyeli kompozit malzemeler ise aşınma dayanımının yüksek, maliyetin düşük olmasının istendiği yerlerde kullanım alanı bulmuştur[4]. Matris fazına göre ise kompozit malzemeler polimer, seramik ve metal matrisli kompozit malzemeler olarak sınıflandırılmaktadırlar. Matris fazının özelliği ve matris fazı ve takviye fazı arasındaki arayüzey ve bu arayüzeyin özellikleri, kompozit malzemenin mukavemeti ve kullanım özellikleri üzerinde büyük önem taşımaktadır. Seramik matrisli kompozitler, sıcaklık dayanımları yüksek ve yük altında gevrek bir davranış gösteren malzemelerdir. Polimer matrisli kompozit malzemelerin yüksek sıcaklıklarda kullanımı sınırlıdır. Bütün bu nedenlerle metal matrisli kompozitlerin kullanım alanları ve önemleri bir kez daha artmıştır. [4] MMK'ler, çok çeşitli yapısal ve termal yönetim uygulamaları için potansiyele sahip bir malzeme sınıfıdır. Metal matrisli kompozitler, ana metal muadillerine göre daha yüksek sıcaklıkta çalışma limitleri sağlayabilir ve

daha iyi mukavemet, sertlik, termal iletkenlik, aşınma direnci, sürünme direnci veya boyutsal kararlılık sağlayacak şekilde uyarlanabilirler. Metal matrisli kompozit malzemelerin yapısı matris bileşeninden ve takviye bileşeninden oluşmaktadır. Bir MMK'de sürekli veya matris fazı monolitik bir alaşımdır ve takviye, yüksek performanslı karbon, metalik veya seramik ilavelerden oluşur. İlave edilen takviye bileşenin şekli, boyutu ve hacmi bu malzemelerin oluşturulmasında önemlidir. Geleneksel malzemelere göre metal matrisli kompozit malzemeler daha iyi iletkenlik ve mukavemetli yapıya sahiptirler. Kullanım açısından kompozit malzemeler dünya pazarında önemli bir yer edinmiştir. Kompozit malzemelere hemen hemen her alanda ihtiyaç duyulmaktadır. Yüksek aşınma ve yüksek sıcaklıklara sahip alanlarda daha sık kullanılır. Günümüzde MMK'ler birçok alanda kullanılmakta olup, uçak, otomotiv uzay teknolojisi ve savunma sanayinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Metal matrisli kompozit malzemelerin geleneksel malzemelere göre en önemli avantajı farklı kombinasyonlar denenerek istenen özellikte malzeme üretiminin sağlanmasıdır. Metal matrisli kompozit malzemeler üstün özelliklere sahip olması nedeniyle geleneksel malzemelerden daha fazla tercih edilmektedir [5]. MMK'ler, her ikisinin de avantajları ve dezavantajları olan katı hal işleme (toz metalurjisi) ve sıvı hal işleme (döküm yöntemleri) ile üretilir, MMK'lerin sentezinde en yaygın olarak kullanılan toz metalurjisi yöntemleridir [3]. Toz metalurjisi yöntemi, metal tozları kullanılarak nihai şekle yakın parçaların üretiminde kullanılmakta olup, aynı zamanda farklı metalik ve alaşımlı malzemelerin ve seramiklerin imalatında da yaygın olarak kullanılmaktadır. Toz metalurjisi yaygın olarak, demir ve demir dışı metallerden parça üretilmesinde kullanılmaktadır. Son şekle yakın parçaların üretilmesi ve işlem adımlarının az olması, bu yöntemi üretim maliyeti açısından daha çekici bir üretim yöntemi olmasını sağlar. Başka üretim yöntemiyle üretilmesi yapılmayan malzemelerin üretimi toz metalurjisi yöntemiyle yapılabilir. Bakır ve bakır alaşımlı tozlar sahip oldukları özelliklerden dolayı günümüz endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Saf bakır tozları genellikle mükemmel elektrik ve termal iletkenliğe sahip olduğundan elektrik ve elektronik endüstrilerinde tercih edilmektedir [6]. Bakır matrisli kompozit malzemeler teknolojinin gelişmesi ve üstün özellikli malzemelere ihtiyaçların artmasıyla son yıllarda geniş kullanım yelpazesine sahip olmuştur. Mekaniksel özelliklerinin çok iyi olmaması saf bakırın uygulama alanını kısıtlamaktadır. Bu nedenle bakıra bir veya birden fazla malzemenin ilave edilmesiyle mekaniksel özellikleri iyileştirilebilir. Bakır matrisli kompozit malzemeler fren disklerinde, elektrik kontaklarında, elektrotlarda, elektronik malzeme yapımında, rulmanlarda, kesici aletlerde ve yüksek performans gerektiren yapısal uygulama alanlarında kullanılmaktadırlar [5].

Bu çalışmada Cu tozuna ağırlıkça %10 oranında Sn tozu karıştırılmıştır. Daha sonra Cu+%10Sn karışımına ağırlıkça %2, %4, %6 oranlarında B₄C tozu karıştırılmıştır. Karıştırma işlemi 45 dev/dk hızla 45 dk süre ile gerçekleştirilmiştir. Karıştırma işleminden sonra tozlar preslenerek numuneler elde edilmiştir. Daha sonra elde edilen numuneler iki farklı sıcaklıklarda sinterlenmiştir. Sinterleme işlemi sonrasında numunelerin mikroyapıları optik ve taramalı elektron mikroskoplarında (SEM) görüntüleri alınmış ve enerji dağılımı spektrometresi (EDS) ve XRD analizleri yapılmıştır. Daha sonra numunelerin mekaniksel özelliklerini belirlemek için mikrosertlik testi ve aşınma deneyi yapılmış ve deneysel çalışmalar sonlandırılmıştır.

1.1. Kompozit Malzemeler

1.1.1. Kompozitlerin Tanımlanması ve Özellikleri

Kompozit malzemelerin gelişimi ile ilgili tasarım ve üretim teknolojileri, malzeme tarihindeki en önemli ilerlemelerden biridir. Kompozitler, belirli bir uygulamanın gereksinimlerini karşılamak üzere uyarlanabilen, benzeri görülmemiş mekanik ve fiziksel özelliklere sahip çok işlevli malzemelerdir. Birçok kompozit ayrıca aşınmaya, korozyona ve yüksek sıcaklığa maruz kalmaya karşı büyük direnç gösterir. Bu benzersiz özellikler, makine mühendisine geleneksel yöntemlerle mümkün olmayan tasarım fırsatları sunar.

Kompozitler, bitmiş yapı içinde ayrı ve farklı kalan önemli ölçüde farklı fiziksel veya kimyasal özelliklere sahip iki veya daha fazla bileşen malzemeden yapılmış mühendislik ürünü veya doğal olarak oluşan malzemelerdir. Temel olarak, iki ana tipte sınıflandırılabilirler, yani olağanüstü mekanik özelliklere sahip yapısal kompozitler ve çeşitli olağanüstü fiziksel, kimyasal veya elektrokimyasal özelliklere sahip fonksiyonel kompozitler. Gelişmiş uzay aracı ve uçak bileşenleri, tekne ve kürek gövdeleri, spor malzemeleri, sensör/aktüatör, katalizörler ve kirlilik işleme malzemeleri, biyomedikal malzemeler ve piller gibi çok çeşitli ürünlerde yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Kompozit malzemelerin yapısı genellikle matris bileşeninden ve matrise gömülü olan takviye bileşeninden oluşmaktadır. Takviye bileşenlerinin temel fonksiyonu matrisin mukavemetini arttırmak ve kompozite gelen yükü taşımaktır [7]. Matris malzemesinin görevi kompozit malzemeye gelen yükleri takviye bileşenlerine dağılımını yapmak ve takviye bileşeninin yüzeyini dış etkilere korumaktır. Matris ve takviye bileşeninin özellikleri, hacim oranları, uygun matris ve takviye bileşeni seçimi, takviye bileşeninin şekli ve takviye bileşeninin yapısı kompozit

malzemenin mekanik özellikleri üzerinde önemli etkiye sahiptir [8]. Geleneksel metallerin özellikleri kompozit malzeme üretimi ile iyileştirilebilir.

- Dayanım
- Korozyon direnci
- Aşınma direnci
- Estetik özelliği
- Ağırlık
- Yorulma ömrü
- Sıcaklığa bağlı davranışı
- Isı yalıtımı
- Isıl iletkenlik
- Ses yalıtımı

Bu avantajların hepsini bir arda üretilen parçaya uygulamak imkansızdır. Kullanım yerlerine göre hangi özellik isteniyorsa o özelliğe uygun kompozit malzeme üretilebilmektedir. Kompozit malzeme üretiminde uygun matris ve takviye elemanının seçimi oldukça önemlidir. Çünkü yapı içerisinde takviye bileşenlerine yükün dağılımı matris fazı tarafından gerçekleştirilir. Bunun içinde matris bileşeni ile takviye bileşeni arasındaki bağın kuvvetli olması önemlidir. Bunun yanında üretim tekniği seçimi de çok önemlidir. Takviye bileşenlerinin matris faz içerisinde eşit dağılımını sağlamak daha mukavemetli malzeme üretmek açısından önemlidir. Kompozit malzeme üretiminin her ne kadar avantajları olsa da bazı dezavantajlarında olması kaçınılmazdır bunlar:

- Üretim güçlüğü,
- Pahalı olması,
- İşlenme problemi
- Diğer malzemeler gibi geri dönüşümün olmayışı,
- Kırılma uzayışının az oluşu [9].

1.1.2. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Kompozitler iki aşamada sınıflandırılır.

1. Matris malzemesine göre
2. Takviye elemanına göre

İlk aşama matris bileşenine dayanmaktadır. Bir matrisin rolü, yapıda takviye bileşenlerini bir arada tutmak, takviye bileşenleri arasındaki gerilmeleri aktarmak, yüzeyi aşınmaya karşı korumak, olumsuz ortamlara karşı bir bariyer sağlamak ve yanal destek sağlamaktır [10, 11]. Matris malzemesine göre kompozitler aşağıdaki çeşitlere ayrılır.

- Polimer matrisli kompozitler(PMK)
- Seramik matrisli kompozitler(SMK)
- Metal matrisli kompozitler(MMK)

1.1.2.1. Polimer Matrisli Kompozitler (PMK)

Polimer matris kompozitler (PMK), elektronik bileşenlerden geniş bir aksesuar yelpazesine kadar modern toplumun neredeyse her alanında bulunabilir. Polimer matrisli kompozitler, bir matris polimer içeren malzemeler içerir. Ayrıca organik polimer matrisinde bir arada tutulan çok sayıda sürekli ve kısa elyaftan oluşur. Polimer matrisli kompozitlerin son gelişmelerindeki matrisler, termosetlerden veya termoplastik malzemelerden yapılmıştır. Bir PMK'nin matris ve takviye gibi özellikleri, büyük mukavemet ve sertlik sunar ve büyük ölçüde kırılma tokluğunu artırmak için kullanılır. Kompozit üretim süreci, ürün tasarımı ve sonucu üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Çeşitli üretim tekniklerinden bir ürün yapma yeteneği kompozit endüstrisine özgüdür. Polimer bazlı malzemeler, otomobil endüstrisi, uçak endüstrisi, denizcilik, spor malzemeleri, elektronik uygulamalar ve biyomedikal uygulamalar dahil olmak üzere çeşitli uygulamalarda kullanılmıştır. Mikroelektronik uygulamalar için kullanılan dolgu takviyeli polimer kompozitlerin büyük potansiyeli. Baskılı devre kartlarını imal etmek için dokuma cam elyaf kumaşlar ve kâğıt, cam elyaf mat ve dolgu maddeleri gibi takviye malzemeleri kullanılır. Termoplastikler ve termosetler, verimliliği artıran ve daha katı gereksinimler sunan elektronik ambalaj malzemelerinde kullanılmaktadır. Polimer kompozitler, iyi termal iletkenliğe ve mikroelektronik performansları iyileştiren arzu edilen dielektrik özelliklere sahiptir. Nanokompozitler, nano doldurucuların bir polimer içinde dağıtıldığı kompozitlerdir. Dolgu ve matris arasındaki uyumluluk ve arayüz, polimer nanokompozitlerde genel özellikleri değiştirmede önemli bir etki oynar [9].

1.1.2.2. Seramik Matrisli Kompozitler(SMK)

Seramik matrisli kompozitler, birçok olasılığa sahip basit ancak yenilikçi malzemelerdir. SMK'ler yeniliği, problem çözme ve mevcut materyallerden en iyi şekilde yararlanmayı temsil eder. Daha da iyisi, karmaşık problemler için basit çözümler idealini temsil ederler. Çeşitli endüstrilerin SMK'leri kullanarak tasarruf edebileceği tüm zaman ve karmaşıklığa rağmen, bu malzemeler aşırı karmaşık bir sistemden gelmiyor. Seramik matrisli kompozitlerin mühendislikte sayısız kullanımı vardır. Birçok sektör, diğer kompozit malzemelerin yetersiz kaldığı alanlarda SMK'leri kullanır. Bu kullanımlar uzay yolculuğu, enerji üretimi, tıbbi kullanım ve daha fazlasını içerir. Seramik matrisli kompozitler kolayca özelleştirilebilir olduklarından, tamamen ilgisiz birçok alanda olasılıklar açarlar.

- Uçak teknolojisinde, motor valfleri, türbinler ve turbo şarj cihazları dahil olmak üzere çeşitli parçalar için SMK'ler kullanılır.
- Havacılık ve uzay teknolojisinde, SMK'ler genellikle dünya ortamına yeniden giriş sırasında termal koruma için kullanılır.
- Enerji teknolojisinde, SMK'ler, füzyon reaktör duvarlarının yanı sıra ısı eşanjörleri oluşturmak için kullanılabilir [9, 12].

Seramik malzemelerin plastik ve metal malzemelerden avantajlı yanı yüksek tokluk ve ısıl dayanıma sahip olmalarıdır [13].

1.1.2.3. Metal Matrisli Kompozitler (MMK)

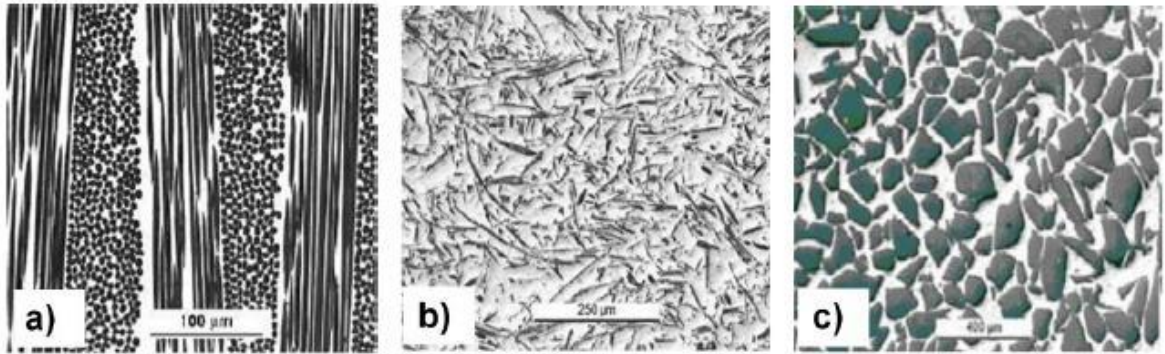
Bir metal matris kompozit (MMK), biri metal olmak üzere en az iki bileşen parçadan oluşan bir malzeme bileşimidir. İkinci bileşen, seramik veya organik bir bileşik gibi başka bir tür metal veya malzeme olabilir. Metal matrisli kompozitler genellikle kullanılan takviyenin özellikleri ile ayırt edilir: elyaflar, partiküller, whiskers. Takviyenin ana rolü, ortaya çıkan MMK'nin termal genleşme katsayısını azaltırken mukavemeti, sertliği ve termal yetenekleri arttırmaktır. Takviye ile birleştirilmiş yüksek yoğunluklu metalik matris, tüm kompozitin yoğunluğunu azaltır, böylece spesifik mukavemet gibi özelliklerini artırır. Bununla birlikte, matris ve takviye arasındaki olası kimyasal reaksiyonlar nedeniyle uygun bir matrisin seçimi

dikkatli bir şekilde düşünölmelidir. Ayrıca, takviyeler ve matris arasındaki ısı genleşme uyumsuzluğundan kaynaklanan ısı gerilmeler de hesaba katılmalıdır [14].

Günümüzde metal matris malzemeler endüstrinin birçok alanında uygulama alanı bulmuştur. Bu malzemelerin tasarımı, uygulama alanının ihtiyaçlarına göre ayarlanabiliyor ve bu da onları çok çekici kılıyor. Metal matrisli kompozitler, geniş yapısal ve termal yönetim uygulamaları potansiyeline sahip bir malzeme sınıfıdır. Ana metal muadillerinden daha yüksek sıcaklıkta çalışma limitleri sağlayabilirler ve daha iyi mukavemet, sertlik, termal iletkenlik ve diğer özellikler verecek şekilde uyarlanabilirler [15]. Metal matrisli kompozitler üstün mekaniksel özelliklere sahip olduklarından geniş kullanım alanına sahiptirler. Uzun süreli çalışma alanlarında polimer matrisli kompozitlere göre daha avantajlıdırlar [16, 17, 18]. Üç tip metal matris kompozit vardır. Bunlar:

1. Partikül Takviyeli MMK'ler
2. Kısa Fiber Takviyeli MMK'ler
3. Sürekli Fiber Takviyeli MMK'ler

Şekil 1.1.'de takviye morfolojilerine göre sınıflandırılmış metal matrisli kompozitlerin SEM görüntüleri verilmiştir.



Şekil 1.1. Takviye malzemesinin geometrisine göre MMK yapıları a) sürekli fiber takviyeli, b) kısa fiber takviyeli, c) partikül takviyeli [19]

Süreksiz takviyeli MMK'lerin sürekli takviyeli MMK'lere göre bazı avantajları vardır. Her şeyden önce, sürekli takviyeli MMK'lere kıyasla ucuzdurlar. Örneğin, monofilament elyaf takviyeli kompozitler pahalıdır, çünkü bu liflerin üretimi maliyetlidir. İkincisi, sürekli güçlendirilmiş MMK'ler çoğu zaman geri dönüştürülebilir. Bu lif takviyeli kompozit durumda çok zor. Ayrıca birçok durumda, süreksiz takviyeli kompozitlerin işlenmesi sırasında net şekle yakın döküm yapılabilir. Tüm bunlara ek olarak, donatının partikül büyüklüğü dağılımı düzenli ve ince olduğunda, bu maliyeti arttırsa da, üretilen parçaların işlenmesi mümkündür. Son olarak, sürekli

güçlendirilmiş kompozitler, elyaf takviyeli kompozitlerden nispeten çok daha fazla izotropiktir [20]. Metal matrisli kompozitlerde genellikle oksit, nitrit ve karbür gibi takviye malzemeleri kullanılmaktadır. Takviye malzemesinin yüksek elastik modülü ile metallerin plastik şekil değiştirme özellikleri bir araya getirilerek aşınmaya dayanıklı, kırılma tokluğu ve basma gerilmesi yüksek kompozitler oluşturulmaktadır. MMK'in kullanım alanları genel olarak uzay, havacılık, otomotiv ve savunma sanayi sektörüdür. Metal matrisli kompozitler her elyaf çeşidi ile iyi ara yüzey oluşturamadıkları için üretimi zor ve pahalıdır. Al, Mg, Ni, Ti, Cu, Zn gibi hafif metaller ve bunların alaşımları MMK üretiminde sıkça kullanılan matris malzemeleridir.

Üstün özellikli bu malzemelerin avantajları şöyle sıralanabilir:

- ✓ Mukavemetinin yüksek olması
- ✓ Yüksek elastisite modülüne sahip olması
- ✓ Düşük yoğunluk özelliği
- ✓ Tokluk ve darbelere karşı yüksek dayanım göstermesi
- ✓ Termal şoklara karşı düşük hassasiyet göstermesi
- ✓ Yüksek ısı ve elektriksel iletkenliğe sahip olması
- ✓ Yüksek yüzey sertliği
- ✓ Yüzey kusurlarına karşı düşük hassasiyet [15, 21].

Üstün özelliklere sahip bu malzemelerin bazı dezavantajları bulunmaktadır. Bu dezavantajlar şöyle sıralanabilir:

- ✓ Ekonomik açıdan yüksek maliyetli olması
- ✓ Üretim aşamalarının zor ve uğraştırıcı olması
- ✓ Metallere göre düşük sünekliğe sahip olmaları
- ✓ Henüz yeni bir malzeme grubu olması nedeniyle üreticiler tarafından metaller kadar bilinmemesi [15, 21].

1.1.2.4. Bakır Matrisli Kompozitler

Son birkaç yılda ilgi gören bakır matrisli kompozitler, karbür, borür veya nitrür gibi seramik parçacıkları içermektedir. Bakır matrisli kompozit malzemelerin kullanımındaki en önemli avantaj, yüksek elektriksel ve termal iletkenlikleri, iyi mekanik özellikleri ve aşınma direncidir.

Günümüzde kompozit malzemelerin geliştirilmesi ve kullanımındaki artışın en önemli nedeni, geleneksel malzemelerin ihtiyaçları yeterince karşılayamamasıdır. Metal matrisin mekanik

özelliklerini iyileştirmek için metal malzemeden oluşan matris fazına bazı takviye bileşenlerinin eklenmesi son zamanlarda hızla gelişmiştir. Yüksek mukavemet/hafiflik özelliklerine sahip kompozit malzemelerin metal matrisli kompozitler sınıfında genellikle kullanılan takviye malzemeleri SiC, B₄C, TiN, TiC ve Si₃N₄ gibi takviye malzemeleri kullanılmaktadır. Nitrür, borür ve karbür gibi takviye malzemelerinin çoğunlukla kullanılmalarının nedeni bu bileşenlerin ısılatılabilirlik özelliklerinin seramiklere göre yüksek olmasıdır. Takviye malzemeleri arasında yüksek sertlik ve aşınma özelliklerine sahip olmasına göre B₄C sık kullanılmaktadır. Takviye bileşeni seçiminde dikkat edilmesi gereken en önemli husus takviye bileşeninin matris bileşeniyle oluşturduğu arayüzeydir. Kompozit malzemelerin özellikleri; matris ve takviye malzemeleri ve bu iki bileşenin kendi arasında oluşturduğu arayüzeyin özelliklerine göre şekillenir. Metalurjik açıdan bakıldığında ise; takviye fazının herhangi bir bozulmaya uğramaması için kimyasal olarak kararlı olması, matris malzemesi tarafından ısılatılabilirliğinin yüksek olması, arayüzeyde kimyasal olarak çok düşük oranlarda tepkime olması önemli etkenlerdir. Çizelge 1.1.'de metal matrisli kompozit malzemelerde kullanılabilen bazı takviye bileşenlerinin özellikleri verilmiştir [22].

Çizelge 1.1. MMK içinde kullanılan bazı takviye bileşenlerinin özellikleri

Malzeme	Poison Oranı (n)	Kayma Modülü (GPa)	Eğme Mukavemeti (MPa)	Kırılma Tokluğu (MPa)
AlN	0,24	133	310	3,70
Si₃N₄	0,24	120	490-980	5,60
SiC	0,16	200	580	2,80
B₄C	0,16	195	310	3,00
Al₂O₃	0,27-0,3	175	294-392	2,80-4,5
WC	0,20	287	1000	7,00

1.2. Bakır ve Bakır Alaşımları

Bakır, insanoğlunun kullandığı en eski metaldir. Kullanımı tarih öncesi çağlara kadar uzanır. Bakır, günümüzde Irak'ta bulunan ve MÖ 8700'e tarihlenen bir Bakır kolye ile 10.000 yıldan fazla bir süredir çıkarılmaktadır. MÖ 5000'de Bakır, basit Bakır Oksitlerden eritiliyordu.

Bakır, yerli metal olarak ve kuprit, malakit, azurit, kalkopirit ve bornit minerallerinde bulunur. Aynı zamanda genellikle gümüş üretiminin bir yan ürünüdür. Sülfürler, oksitler ve karbonatlar en önemli cevherlerdir. Bakır ve Bakır alaşımları, mevcut en çok yönlü mühendislik

malzemelerinden bazılarıdır. Mukavemet, iletkenlik, korozyon direnci, işlenebilirlik ve süneklik gibi fiziksel özelliklerin kombinasyonu, bakırı geniş bir yelpazede kullanım için uygun hale getirir. Bu özellikler, bileşim ve üretim yöntemlerindeki değişikliklerle daha da geliştirilebilir. Bakırın en büyük nihai kullanımı inşaat sektöründedir. Yapı endüstrisinde bakır esaslı malzemelerin kullanımı geniştir. Bakır için inşaat sektörü ile ilgili uygulamalar şunları içerir:

- Çatı Kaplama
- Kaplama
- Yağmur suyu sistemleri
- Isıtma sistemleri
- Su boruları ve bağlantı parçaları
- Petrol ve gaz hatları
- Elektrik tesisatı

İnşaat sektörü, Bakır alaşımlarının en büyük tek tüketicisidir. Aşağıdaki liste, yıllık bazda sektöre göre Bakır tüketiminin bir dökümüdür:

- İnşaat sektörü – %47
- Elektronik ürünler- %23
- Ulaşım- %10
- Tüketici ürünleri- %11
- Endüstriyel makineler- %9

Bakır alaşımları için yaklaşık 370 ticari bileşim vardır. En yaygın alaşım, Bakırın standart su borusu sınıfı olan C106/CW024A olma eğilimindedir. Bakır ve Bakır alaşımlarının dünya tüketimi şimdi yılda 18 milyon tonu aşıyor. Bakır ve Bakır alaşımları olağanüstü bir uygulama yelpazesinde kullanılabilir. Bakır için uygulamalardan bazıları şunlardır:

- Güç iletim hatları
- Mimari uygulamalar
- Pişirme kapları
- Bujiler
- Elektrik tesisatı, kablolar ve baralar
- İletkenliği yüksek teller
- Elektrotlar
- Isı eşanjörleri

- Soğutma boruları
- Tesisat
- Su soğutmalı Bakır potalar

Bakır Alaşımlarının Temel Özellikleri Bakır, sert, sünek ve dövülebilir bir malzemedir. Bu özellikler bakırı boru şekillendirme, tel çekme, eğirme ve derin çekme için son derece uygun hale getirir. Bakır ve alaşımlarının sergilediği diğer önemli özellikler şunları içerir:

- Mükemmel ısı iletkenliği
- Mükemmel elektriksel iletkenlik
- İyi korozyon direnci
- İyi biyolojik kirlenme direnci
- İyi işlenebilirlik

Dövme bakır alaşımları, çeşitli farklı üretim yöntemleri kullanılarak üretilir. Bu yöntemler, haddeleme, ekstrüzyon, çekme ve damgalama gibi işlemleri içerir. Bu işlemleri tavlama (yumuşatma), soğuk işleme, ısıl işlemlerle sertleştirme veya istenen özelliklerin elde edilmesi için gerilim giderme işlemleri takip edebilir. Bakır alaşımlarını belirleme yöntemi, ABD Bakır ve Pirinç endüstrisi tarafından C harfinden önce beş hane kullanılarak geliştirilen sistemin genişletilmesidir. (Çizelge 1.2) [23].

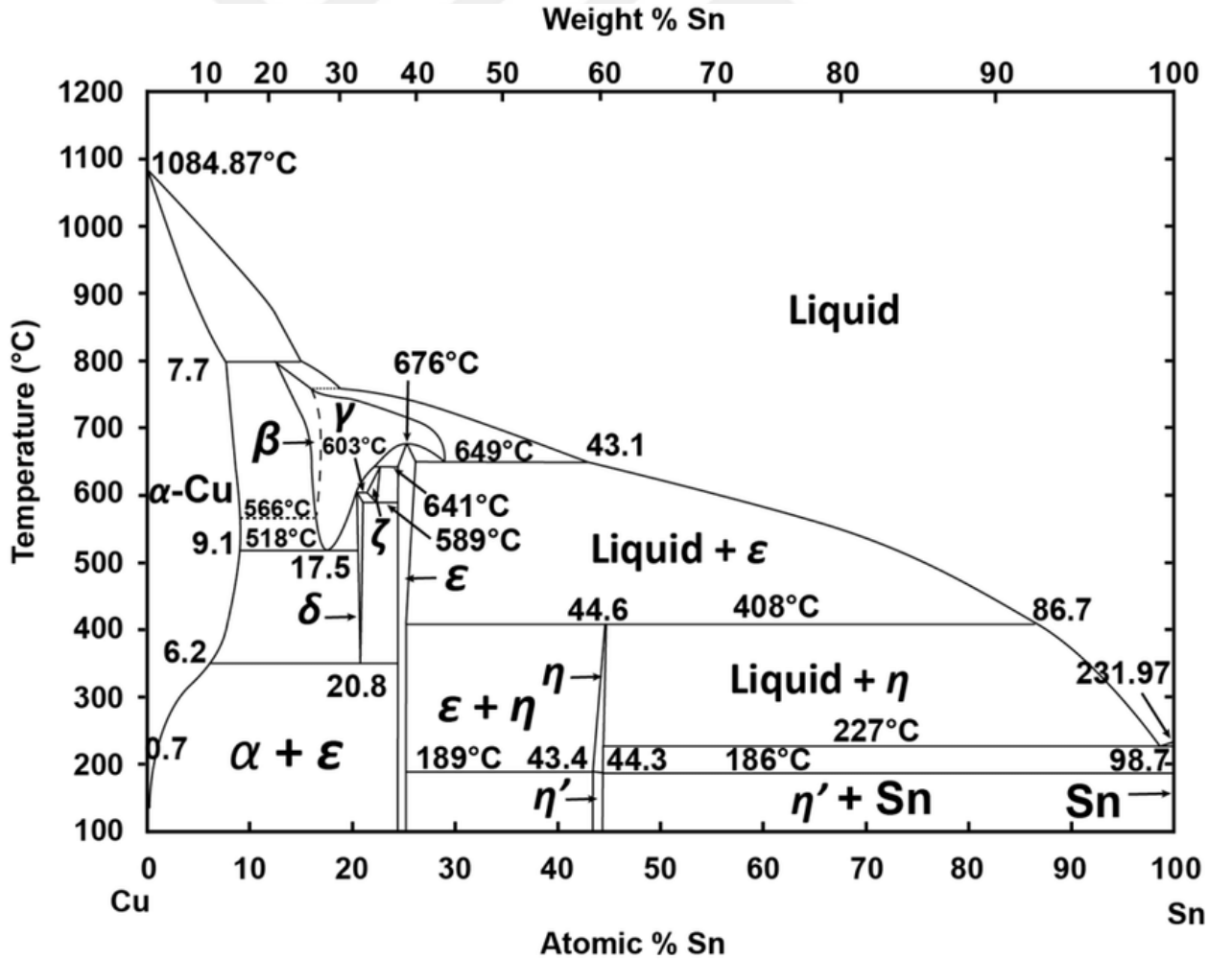
Çizelge 1.2. Dövme ve Döküm Bakır Alaşımları

Alaşım Numaraları	Türler	Alaşım İsimleri
C10000-C19999	Dövme	Bakırlar, Yüksek Bakır Alaşımları
C20000-C49999	Dövme	Pirinçler
C50000-C59999	Dövme	Fosfor Bronzları
C60600-C64200	Dövme	Alüminyum Bronzlar
C64700-C66100	Dövme	Silikon Bronzları
C66400-C69800	Dövme	Pirinçler
C70000-C79999	Dövme	Bakır Nikeller, Nikel Gümüşler
C80000-C82800	Döküm	Bakırlar, Yüksek Bakır Alaşımları
C83300-C85800	Döküm	Pirinçler
C86100-C86800	Döküm	Manganez Bronzları
C87200-C87900	Döküm	Silikon Bronzları ve Pirinçler
C90200-C94800	Döküm	Kalay Bronzları
C95200-C95800	Döküm	Alüminyum Bronzlar

C96200-C97800	Döküm	Bakır Nikeller, Nikel Gümüşler
C98200-C98800	Döküm	Kurşunlu Bakır
C99300-C99750	Döküm	Özel Alaşımlar

1.2.1. Cu-Sn Alaşımları

Cu-Sn, sünek, ısı iletken ve alaşımı oluşturan ana metalden daha iyi korozyon direncine sahip olduğu bulunan demir dışı alaşımlardır. Bir alaşım karışımı, boyutları farklı olan farklı elementlerden atomlar içerdiğinden daha güçlüdür. Endüstriyel açıdan bakır ve kalayın önemli alaşımları, kalay içeriğinin belirli sınırları içinde bulunan bronzlardır. Pirinçlerde olduğu gibi, bakıra kalayın eklenmesi bir dizi katı çözeltinin oluşmasına neden olur. Bakır-kalay alaşımlarının yapısal diyagramı çok karmaşıktır, ancak endüstriyel öneme sahip alaşımlarla ilgilenen kısmı Şekil 1.2.'de verilmiştir.



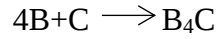
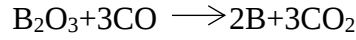
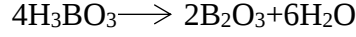
Şekil 1.2. Bakır-Kalay denge diagramı

Bakır kalay alaşımları veya kalay bronzları, korozyon dirençleri ile bilinir. Kalay bronzları, kırmızı ve yarı kırmızı pirinçlerden daha güçlü ve daha sünektir. Çeliğe karşı yüksek aşınma direncine ve düşük sürtünme katsayısına sahiptirler. %15,8'e kadar kalay içeren kalay bronzları, alfa bakırın yapısını korur. Kalay, oda sıcaklığında bakırda düşük bir çözünürlüğe sahip olmasına rağmen, bakırda katı bir çözelti güçlendiricidir. Oda sıcaklığında faz dönüşümleri yavaştır ve genellikle oluşmaz, bu nedenle bu alaşımlar tek fazlı alaşımlardır. Kalay bronzları yataklarda, dişlilerde, piston segmanlarında, valflerde ve bağlantı parçalarında kullanılır. Dökme kalay bronzları, UNS C90200 ile C91700 arasında belirtilmiştir. İşlenebilirliği ve basınç sızdırmazlığını iyileştirmek için kalay bronzlarına kurşun eklenir. Kurşun, kalay bronzların gerilme mukavemetini ve sünekliğini azaltır, ancak bileşim, işlenebilirlik ve mukavemet gereksinimlerini dengelemek için ayarlanabilir. Yüksek kurşunlu kalay bronzları esas olarak kovanlı yataklar için kullanılır. Bu alaşımlar, gevşemeyi ve sıkışmayı geçici olarak önleyen yavaş bir arıza mekanizmasına sahiptir. Yavaş arıza mekanizması, kurşun alaşımdan sızarak ve muylu yüzeyinin üzerine bulaşarak çalışır. Dökme kurşunlu kalay bronzları, UNS C92200 ile C94500 olarak belirlenmiştir [24].

1.3. Bor Karbür (B₄C)

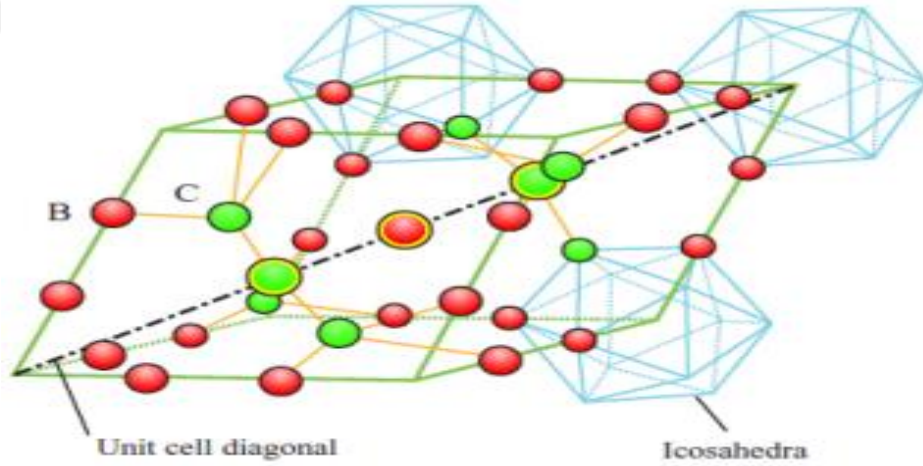
Bor karbür, alümina, silika, silisyum nitrür ve elmas gibi diğer metalik olmayan sert malzemeler arasında önemli bir yere sahiptir. İlk olarak 1858'de, daha sonra 1883'te Joly ve 1894'te Moissan tarafından keşfedilmiştir. 19. yüzyılın sonlarında keşfedilmiş olsa bile, 4/1 stokiyometrik oranı 1934'te Ridgway tarafından tanımlanmıştır. Bor karbür, kristal yapısında kovalent bağlara sahip seramik bir malzemedir. Kübik bor nitrür ve elmastan sonra en sert üçüncü malzeme olarak da bilinir. B₄C, mühendislik malzemelerinin çoğundan nispeten düşük bir yoğunluğa (2,52 g/cm³), yüksek Young Modülüne (450-470 GPa) sahiptir. Yüksek bir nötron absorpsiyon kesiti olarak iyi bir nükleer özelliğe sahiptir. Avantajlarının yanı sıra, yüksek bir erime noktasına (2450 °C) sahiptir ve >%95 bağlı yoğunluklar için yüksek bir sinterleme sıcaklığına ihtiyaç duyar. Düşük öz difüzyon katsayısı, düşük plastisite ve tane sınırı kaymasına karşı yüksek direnç nedeniyle yoğunlaştırılması zordur. B₄C, üretim yöntemleri nedeniyle nihai ürünlerin sınırlı bir kalıplanabilirliğine sahiptir. Bor karbürün en yaygın sentez yöntemi borik asidin karbotermik indirgenmesidir. Borik asidin ısıtılması sonucunda bor oksit ve su elde edilir. Bor oksit ve karbon monoksit reaksiyona girer ve reaksiyon sonucunda bor ve karbon dioksit oluşur. Bu reaksiyon, sıcaklık 1400 C'den yüksek olduğunda uygulanabilir. Elektrik ark ocağı, Acheson tipi fırın ve borulu fırın, bor karbürü

karbotermik reaksiyonla sentezleyen ana fırın türleridir. Karbotermik indirgemenin kimyasal reaksiyonları aşağıda gösterilmiştir.



Bor karbür, nükleer manyetik rezonans, IR absorpsiyon spektroskopisi ve XRD analizi ile kanıtlanabilen karmaşık bir kristal yapıya sahiptir. Bor karbürün kimyasal formülü stokiometrik oranı nedeniyle B_4C olarak bilinse de ideal formül B_{12}C_3 'tür. Eşkenar dörtgen kristal yapıya sahiptir ve bor karbürün eşkenar dörtgen birim hücresi 15 atomdan oluşur. İlk çalışmalar, eşkenar dörtgen geometrinin, birim hücrenin köşesindeki ikosahedraların 12 bor atomu tarafından meydana geldiğini göstermektedir.

Her ikosahedra kovalent bağlarla bağlanır. Şekil 1.3'de görüldüğü gibi, son çalışmalar bor karbürün kristal yapısının C-B-C zincirinden ve 11 bor ve bir karbon atomlu ikosahedralardan oluştuğunu iddia etmiştir [25].



Şekil 1.3. Bor Karbürün kristal yapısı [25]

1.4. Toz Metalurjisi

Toz metalurjisi (T/M), çoğu metalik ve alaşımlı malzemeyi ve çok çeşitli şekilleri kapsayan sürekli ve hızla gelişen bir teknolojidir. T/M, güvenilir demirli ve demirsiz parçaların üretimi için oldukça gelişmiş bir yöntemdir. Element veya alaşım tozlarının karıştırılması ve karışımın bir

kalıpta sıkıştırılmasıyla oluşturulan elde edilen şekiller daha sonra parçacıkları metalurjik olarak bağlamak için kontrollü bir atmosfer fırınında ısıtılır veya "sinterlenir". T/M'nin yüksek hassas şekillendirme yeteneği, net şekle, karmaşık özelliklere ve iyi boyutlu hassas parçalara sahip bileşenler üretir ve genellikle işleme gerekmeden tamamlanır. T/M süreci homojen bir yapıya sahip parçalar üreterek üreticilerin çok çeşitli uygulamalarda davranışlarında daha tutarlı ve öngörülebilir ürünler üretmesini sağlar. Ek olarak, T/M süreci, performans gereksinimlerinin uygun hale getirilmesine izin veren yüksek derecede esnekliğe sahiptir (Şekil 1.4.) [26].



Şekil 1.4. Toz metalurjisinin yüksek derecede esneklik örneği

1.4.1. Metal Toz Üretimi

Metal tozlarının üretiminde kullanılan yöntemler, tozların birçok özelliğini belirlemektedir. Tozun geometrik formu, üretim yöntemine bağlı olarak karmaşık biçimden küresel şekle kadar çok farklı olabilir. Toz partikülünün yüzey durumu da üretim yöntemine göre değişmektedir. Malzemelerin çoğu, özelliklerine uygun bir teknikle toz haline getirilebilir. Toz üretim teknikleri arasında ticari olarak kullanılanlar da bulunmaktadır.

Bunlar:

- Mekanik (Taşlama)
- Kimyasal
- Elektroliz
- Atomizasyon
- Diğer Üretim Teknikleri

Atomizasyon, benzersiz özelliklerinden dolayı toz üretiminin genel yöntemidir. Atomizasyon yöntemi ile paslanmaz çelik, nikel alaşımı ve titanyum alaşımli toz üretilir. Demir, bakır, tungsten ve molibden gibi diğer tozları üretmek için kimyasal indirgeme uygun yöntemdir. Benzer şekilde demir, bakır ve gümüş tozları da elektroliz tekniği ile üretilir [27].

1.4.2. Karıştırma

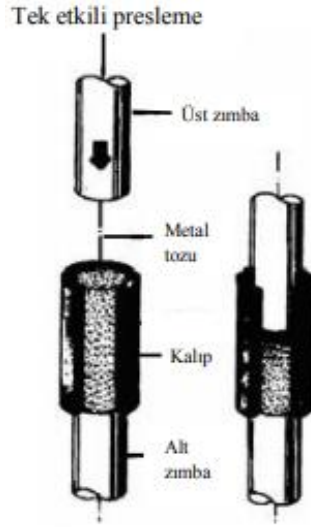
Karıştırma, eşit minimal bileşime sahip, ancak çeşitli parçacık boyutlarına ve şekillerine sahip tozların birleştirildiği yöntemdir. Tane boyutlarının homojen dağılımını sağlamak ve gözenekliliği azaltmak için harmanlama yapılmalıdır [28].

1.4.3. Presleme

Kullanılacak metal tozları bir kalıp vasıtasıyla şekillendirildiğinde tozun kalıp boşluğunu çok iyi ama tam olarak doldurması istenir. Tozlar kalıpta soğuk preslendiğinde teorik yoğunluğa mümkün olduğunca ulaşıldığı düşünülür. Aynı presleme basıncı uygulanmasına rağmen her metal tozunda presleme sonucunda ulaşılan yoğunluk malzemenin teorik yoğunluğuna göre farklıdır. Bu duruma bağlı olan faktörler tozun şekli, tane boyutu ve yüzeyi, malzeme tipi (üretim yöntemleri, spesifik yüzey) ve toza uygulanan ön işlemdir. Malzemenin yapısı ne kadar yumuşak olursa sıkıştırılabilirlik özelliği o kadar yüksek olur. Preslenebilirlik, toz tanelerinin kalıpla ve kendi aralarında sürtünmesi ile yakından ilgilidir.

1.4.3.1. Tek Yönlü Presleme

Geleneksel toz sıkıştırma işlemleri tek yönlü olarak gerçekleştirilir. Toz karışım kalıba doldurulduktan hemen sonra üst baskı plakası vasıtasıyla presleme işlemleri uygulanır. Alt pistonu kullanmanın görevi, oluşturulacak parçayı kalıptan sıyırmaktır (Şekil 1.5). Parçanın kalıptan çıkarılmasını kolaylaştırmak ve sıkıştırma özelliğini sağlamak için kalıp duvarlarına yağlama yapılır. Tek yönlü presleme işleminde uygulanan basınç miktarı arttıkça sıkıştırılan malzemenin yoğunluğu da artmaktadır. Bunun nedeni kullanılan tozlar arasında gözeneklerin azalmasının yanı sıra kütlenin aynı kalması ve hacminin azalmasıdır [27].



Şekil 1.5. Metal kalıpta tek yönlü sıkıştırma

1.4.3.2. Çift Yönlü Presleme

Zımba ile kalıba yukarı ve aşağı basınç uygulanır. Her iki zımba da dinamiktir. Zımbalar farklı veya eşit miktarda hareket ve basınç uygulayabilir (Şekil 1.6). Ortaya çıkan parçalar birinci ve ikinci sınıf kategorisine girer. Ham homojen bir yoğunluk elde edilemez. Ham yoğunluk dağılımı, parçacıklar, zımbalar ve toz parçacıkları ile kalıp yüzeyi arasındaki sürtünme nedeniyle önemli ölçüde değişebilir. Bu çeşitli özellikler, yağlayıcı vasıtasıyla veya uygun sıkıştırma yöntemleri kullanılarak sürtünme azaltılarak azaltılmaya çalışılır.

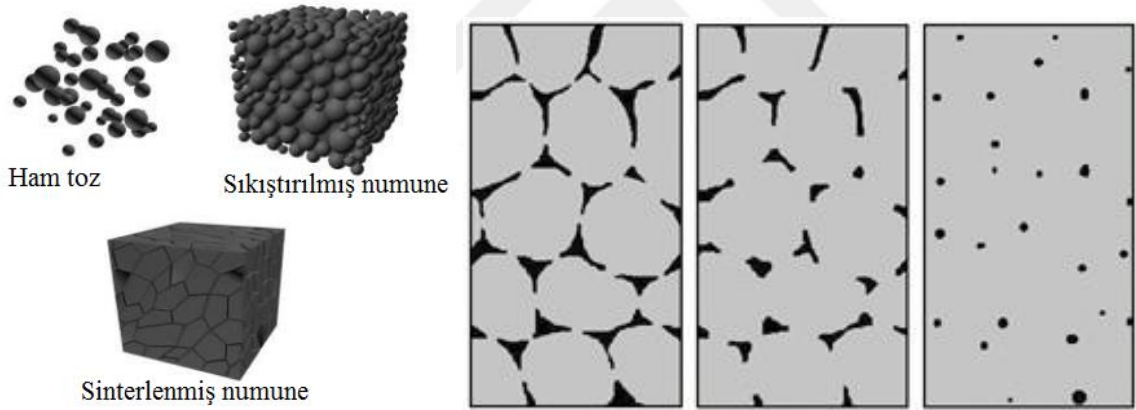


Şekil 1.6. Metal kalıpta çift yönlü sıkıştırma

Tek yönlü sıkıştırma yöntemi ile tam yoğunluğa ulaşmak mümkün değildir. Çift yönlü sıkıştırmada toz; Üst ve alt zimbalar tarafından sıkıştırıldığı için, kalıbın duvarı ile toz partikülleri arasında oluşan sürtünme kuvveti, kalıp tabanındaki yay gibi esnek malzemenin yay kuvvetini aşarak kalıbın alt kısma doğru hareket etmesini sağlar. bölge, alt zımbanın, üst zımba ile tozun toz yüzeyine eşit basınç uygulamasına izin verir [27].

1.4.4. Sinterleme

Sinterleme, partikülleri bağlamak için yeşil kompaktların kontrollü bir atmosferde bir fırında ısıtılması işlemidir (Şekil 1.7). Sinterleme işlemi, ağ bantlı fırınlar, yürüyen kirişli fırınlar, itici tip fırın ve kesikli fırın gibi çeşitli fırınlarda ergitme noktasının altında gerçekleştirilmektedir. Sıkıştırmadan sonra, komşu toz parçacıkları soğuk kaynaklarla bir arada tutulur ve bu da kompaktın işlenecek kadar “yeşil mukavemet” vermesini sağlar. Sinterleme sıcaklığında difüzyon işlemleri bu temas noktalarında boyunların oluşmasına ve büyümesine neden olur [28].



Şekil 1.7. Sinterleme işlemi

1.4.5. Toz Metalurjisinin Avantaj ve Dezavantajları

Avantajlar:

- İşlemenin ortadan kaldırılması veya azaltılması
- Yüksek üretim oranları
- Karmaşık şekiller
- Kompozisyonlarda geniş varyasyonlar
- Geniş özellik varyasyonları
- Hurda ortadan kaldırılır veya azaltılır

- Düşük sünekliğe sahip metallere sahip yüksek mukavemetli parçalar
- İyi mikro yapı kontrolü
- Minimum işleme ile yüksek toleranslı parçalar mümkündür.

Dezavantajlar:

- Düşük mukavemet özellikleri
- Yüksek takım maliyetleri
- Yüksek malzeme maliyeti
- Boyut ve şekil sınırlamaları
- Sinterleme sırasında boyut değişiklikleri
- Yoğunluk varyasyonları
- Sağlık ve güvenlik tehlikeleri
- Gözeneklilik ve düşük süneklik dayanıklılığı bozabilir.
- Kırılma Tokluğu düşük olabilir.
- Mukavemet ve sertlik, benzer bileşimdeki dövme alaşımlardan daha düşük olabilir [27].

1.5. Aşınma

Genel olarak aşınma, bu yüzey ile temas eden bir madde veya maddeler arasındaki nispi hareket nedeniyle malzemenin aşamalı olarak çıkarılmasıyla sonuçlanan mekanik olarak indüklenen yüzey hasarıdır. Temas eden bir madde, başka bir yüzeyden, bir sıvıdan veya örneğin bir yağlayıcı gibi bir sıvı veya süspansiyon formunda bulunan sert, aşındırıcı parçacıklardan oluşabilir. Sürtünmede olduğu gibi, aşınmanın varlığı da iyi ya da kötü olabilir. Üretken, kontrollü aşınma işleme, kesme, taşlama ve cilalama gibi işlemlerde bulunabilir. Bununla birlikte, teknolojik uygulamaların çoğunda, aşınma meydana gelmesi son derece istenmeyen bir durumdur ve bileşenlerin bozulmasına ve hatta bozulmasına neden olduğu için son derece pahalı bir sorundur. Güvenlik açısından, genellikle kırık kadar ciddi (veya ani) değildir. Bunun nedeni, genellikle aşınmanın beklenmesidir [29].

1.5.1. Aşınma Tipleri

Aşınma, genel olarak, izolasyon veya karmaşık etkileşimde meydana gelen aşınma tiplerine göre sınıflandırılır. Aşınma mekanizmaları ve/veya alt mekanizmalar sıklıkla örtüşür ve

sinerjik bir şekilde meydana gelir, bu da tek tek aşınma mekanizmalarının toplamından daha yüksek bir aşınma oranı üretir. En yaygın aşınma türleri şunlardır:

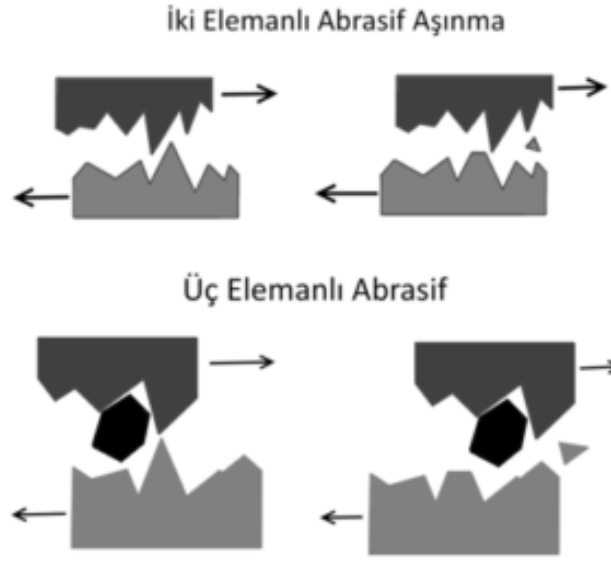
- Abrazif Aşınma
- Adhezif Aşınma
- Yorulma Aşınması
- Sürtünme Aşınması
- Eroziv Aşınma
- Korozyon ve Oksidasyon Aşınması

Diğer, daha az yaygın olan aşınma türleri şunlardır:

- Darbe Aşınması
- Kaviteasyon Aşınması
- Difüzyon Aşınma [29].

1.5.1.1. Abrazif Aşınma

Abrazif aşınma, sert bir yüzey veya sert partiküller yumuşak bir yüzey üzerinden geçerek malzeme kaybına neden olduğunda meydana gelir. Bununla birlikte, benzer metaller arasındaki kayma sürtünmesinin aşınma izleri üzerinde aşındırıcı oluklar bulunabilir. Bu, arayüzde iş sertleşmesi, faz dönüşümleri ve üçüncü cisim oluşumu nedeniyle aşınma işlemi sırasında aşındırıcı parçacıkların oluşabileceği anlamına gelir. Abrazif aşınma iki gruba ayrılabilir: iki gövdeli ve üç gövdeli abrazif aşınma (Şekil 1.8).



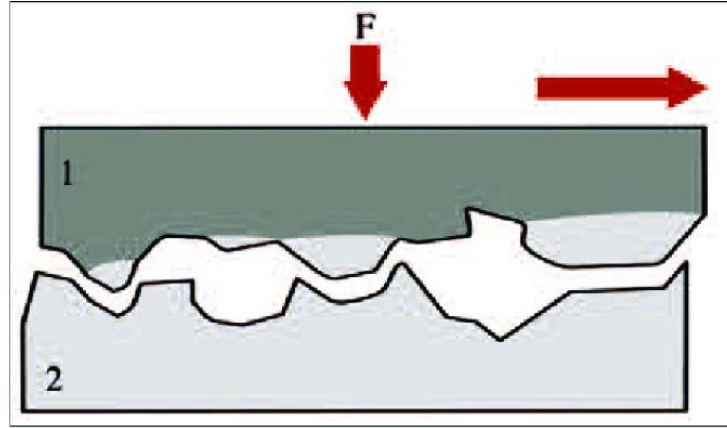
Şekil 1.8. Abrasif aşınma

Üç cisimli aşınmada, çalışma sırasında oluşan veya sistem dışından gelen partiküller abrasiv aşınmaya neden olurken, iki gövdede ise malzemelerden biri abrasiv rolünü oynar. Abrasif aşınmanın üç farklı şekli vardır: mikro kesme, kama oluşturma ve sürme. Bir sistemin çalışması sırasında bir moddan diğerine geçiş olabilir ve modlar aynı anda hareket edebilir. Sürme modunda, sıg bir oluk oluşur ve bir aşınma parçacığı oluşturmak için tekrarlanan yükleme gereklidir. Kama oluşumunda, kama tipi aşınma döküntüsü oluşur. Mikro kesme modunda, uzun, kıvrılmış şerit benzeri parçacıklar üretilir. Aşındırıcı parçacığın şekli, sertlik, yük ve temas ara yüzeyindeki kesme mukavemeti, abrasiv aşınmanın durumunu belirler. Metallerin abrasiv aşınma katsayıları, adeziv aşınmaya göre daha büyük olan koşullara bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle, aşındırıcı mod esas olarak şiddetli bir aşınma türüdür [30].

1.5.1.2. Adhezif Aşınma

Adhezif aşınması, iki kayan malzeme arasındaki pürüzlerin veya mikroskobik yüksek noktaların (yüzey pürüzlülüğü) birleştirilmesinden kaynaklanır (Şekil 1.9). Bir yüzeyden bir tepe noktası diğer yüzeyden bir tepe noktası ile temas ettiğinde, ortaya çıkan sürtünme tarafından üretilen ısı nedeniyle ani mikro kaynak meydana gelebilir. Bu, bir yüzeyden diğerine ayrılma veya malzeme aktarımı ile sonuçlanır. Adhezif aşınmanın meydana gelmesi için yüzeylerin birbirleriyle yakın temas halinde olması gerekir. Bu, aşınma kalıntılarının ve malzeme bileşiklerinin bir yüzeyden diğerine istenmeyen şekilde yer değiştirmesine ve bağlanmasına neden olabilir. Adhezif

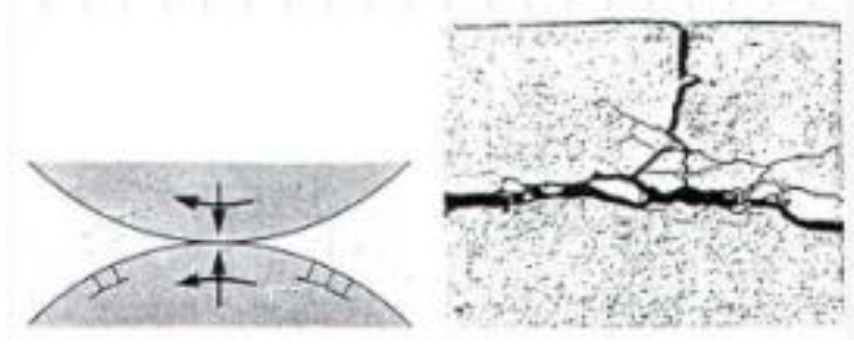
aşınması, pürüzlülüğün artmasına ve orijinal yüzeyin üzerinde çıkıntıların (yani topakların) oluşmasına neden olabilir. Yağlayıcı filmler, oksit filmler vb. ile ayrı tutulan yüzeyler, yapışma eğilimini azaltır. Bazı mühendislik uygulamalarında yüzeyler havada veya yağlayıcı olmadan kayar ve ortaya çıkan aşınma kuru kayma olarak adlandırılır [29].



Şekil 1.9. Adheziyon aşınma

1.5.1.3. Yorulma Aşınması

Malzeme biliminde yorulma, aşamalı, kırılğan ve yerel yapısal hasarla sonuçlanan döngüsel yüklemenin neden olduğu bir malzemenin zayıflamasıdır. Yüzey yorgunluğu veya yorulma aşınması, yuvarlanma teması sırasında değişen gerilimlere veya birlikte yuvarlanma ve kaymadan kaynaklanan gerilimlere maruz kalan yüzeylerin çatlaması ve ardından çukurlaşmasıdır (Şekil 1.10.). Yorulma aşınması, aşınma parçacıkları yüzeydeki mikro çatlakların döngüsel çatlak büyümesi ile ayrıldığında üretilir. Bu mikro çatlaklar ya yüzeysel çatlaklar ya da yüzey altı çatlaklardır. Malzemelerin maruz kaldığı tekrarlanan yükleme ve boşaltma döngüleri, yüzey altı veya yüzey çatlaklarının oluşumunu indükleyebilir ve bu da, kritik sayıda döngüden sonra, büyük çukurlar bırakarak büyük parçaların oluşumuyla yüzeyin parçalanmasına neden olur. yüzeyde. Bir çatlak başladığında, her bir yükleme döngüsü, tekrarlanan alternatif veya döngüsel gerilmeler normal gücün oldukça altında bir yoğunlukta olsa bile, çatlağı küçük bir miktar büyütecektir. Gerilmeler, titreşim veya termal döngüden kaynaklanabilir. Tekrarlanan yuvarlanma ve kayma sırasında sırasıyla yer altı ve yüzey yorulmaları gözlemlenir [29].



Şekil 1.10. Yorulma aşınması

1.5.1.4. Sürtünme Aşınması

Sürtünme aşınması, yük altında iki malzeme arasındaki temas alanında meydana gelen ve titreşim veya başka bir kuvvet tarafından çok küçük bağıl harekete maruz kalan özel bir aşınma sürecidir. Sürtünme aşınması, eşleşen yüzeylerde mikro kaynak meydana geldiğinden yapışkan aşınmaya benzer. Bununla birlikte, adeziv aşınmada, yüzeydeki metaller birbirleri üzerinde kayarken, sürtünme aşınmasında metal-metal ara yüzleri esasen durağandır. Göreceli kayma hareketinin genliği genellikle mikrometreden milimetreye kadardır. Bu artıklar genellikle temas halindeki metallerin oksitlerinden oluşur. Oksitlenmiş kalıntı genellikle geldiği yüzeylerden çok daha sert olduğu için, genellikle aşınma oranını artıran bir aşındırıcı madde görevi görür. Sürtünme aşınması tipik olarak yataklarda meydana gelir, ancak çoğu yatağın yüzeyleri soruna direnmek için sertleştirilmiştir [29].

1.5.1.5. Eroziyon Aşınma

Erozyon aşınması, katı parçacıkların tekrarlanan etkileri nedeniyle malzemenin hedef yüzeyden aşamalı olarak çıkarılması işlemidir. Katı sıvı karışımının akışında asılı kalan parçacıklar, sulu geçişleri aşındırarak bulamaç taşıma sistemi için kullanılan ekipmanın hizmet ömrünü sınırlar. Her parçacık, yüzeyden çok az miktarda malzemeyi (aşınma talaşı olarak adlandırılır) keser veya kırar. Bu uzun bir süre boyunca tekrarlanırsa, önemli miktarda maddi kayıp meydana gelebilir [29].

1.5.1.6. Korozyon ve Oksidasyon Aşınması

Korozif aşınma, korozyon ve aşınmanın birleşik etkisinden kaynaklanan bir malzeme bozunma sürecidir. Kaymanın korozif bir ortamda gerçekleştiği aşınma süreci olarak tanımlanır. Kayma olmadığında, korozyon ürünleri (örneğin oksitler) yüzeyler üzerinde tipik olarak bir mikrometreden daha az kalınlıkta bir film oluşturacak ve bu da korozyonu yavaşlatma ve hatta ortadan kaldırma eğiliminde olacaktır, ancak kayma hareketi filmi aşındıracaktır (Şekil 1.11.). uzaklaştırın, böylece daha fazla korozyon devam edebilir. Oksidasyon aşınması, aşındırıcı aşınmanın en yaygın biçimlerinden biridir, çünkü oksijen açısından zengin bir ortam, bu aşınma sürecinin meydana geldiği tipik bir ortamdır. Korozif aşınma hem korozyon hem de sürtünme gerektirir. Kimyasal korozyon, yüksek derecede korozif bir ortamda ve yüksek sıcaklık ve yüksek nemli ortamlarda meydana gelir [29].



Şekil 1.11. Korozyon aşınması

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Yapılan çalışmada metal tozların ve diğer takviye tozlarının yüzdelik karışım oranları ve karıştırma işlemi Bitlis Eren Üniversitesi Yahya Eren İleri Araştırma Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Yüzdelik karışım oranları hassas terazi vasıtasıyla kütleli olarak yapılmıştır. Presleme işlemi Bitlis Eren Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulunun atölyesinde yapılmıştır. Sıkıştırılmış toz metal numunelerin sinterlenmesi, mikroyapı incelemeleri, sertlik ölçüm işlemleri yine Bitlis Eren Üniversitesi Yahya Eren İleri Araştırma Laboratuvarında yapılmıştır. Toz metal numunelerin SEM görüntüleri ve EDS analizlerinin alınması Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilim Araştırma ve Uygulama Merkezi laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Numunelerin XRD analizleri İnönü Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Laboratuvarında yapılmıştır. Aşınma deneyleri ise Batman Üniversitesinde yapılmıştır.

2.1. Karışım Tozların Hazırlanması

Bu çalışmada matris malzemesi olarak Cu+%10Sn toz karışımı kullanılmıştır. Takviye malzemesi olarak %2, %4, %6 oranlarında B₄C tozu kullanılmıştır. Tozların homojenliğini sağlamak için karıştırma işlemi 45 dev/dk hızla 45 dk sürede yapılmıştır. Tozların karışım oranları çizelge 2.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1. Hazırlanan toz karışımları

No:	Matris bileşeni (Cu+%10Sn)	Takviye bileşeni (B ₄ C)
1	%100	-
2	%98	%2
3	%96	%4
4	%94	%6

2.2. Tozların Preslenmesi

Tez çalışmasında sinterleme için iki farklı sıcaklık belirlendiğinden dolayı, her yüzdelik toz karışımından iki adet olmakla toplamda sekiz numune preslenmiştir. Presleme işlemi 12 mm çaplı kalıpta tek yönlü olarak 500 MPa basınç uygulanarak gerçekleştirilmiştir.

2.3. Numunelerin Sinterlenmesi

Numunelerin sinterlenmesi İleri Araştırma Laboratuvarında yerleşen Protherm marka fırında 60 dk süre ile yapılmıştır. (Şekil 2.1) Numunelerin ilk dört serisi 600 °C, diğer dört seri ise 700 °C sıcaklıkta 60 dk süre ile sinterlenmiştir. Sinterleme sıcaklığına ulaştıktan sonra soğutma işlemi oda sıcaklığında yapılmıştır.



Şekil 2.1. Sinterleme Fırını

2.4. Metalografik İncelemeler

Sinterlenmiş numunelerin mikroyapısını incelemek için ve takviye bileşeninin matris faz içerisinde dağılımını görmek için numuneler sırasıyla 320, 600, 800, 1200 grit aşındırıcı zımpara kağıtlarıyla su altında zımparalanmıştır. Zımparalama işleminden sonra numunelerin parlatma çuhasında etil alkol ve elmas pasta yardımıyla parlatma işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.2). Daha sonra numunelerin yüzeyi yıkanarak kurutulmuştur. Mikroskopta tane sınırlarının daha net belirlenmesi için numunelerin yüzeyi dağlanmıştır. Dağlama işlemi 8 ml metanol (CH_3OH) dağlayıcısı ile 5 saniye süre ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.2. Zımparalama ve Parlatma cihazı

Numunelerin mikro yapısı Bitlis Eren Üniversitesi Yahya Eren İleri Araştırma Laboratuvarında bulunan Nikon Eclipse MA 100 markalı optik mikroskopta farklı büyütme merceklerinde incelenmiş ve görüntüler alınmıştır (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Nikon Eclipse MA 100 optik mikroskop

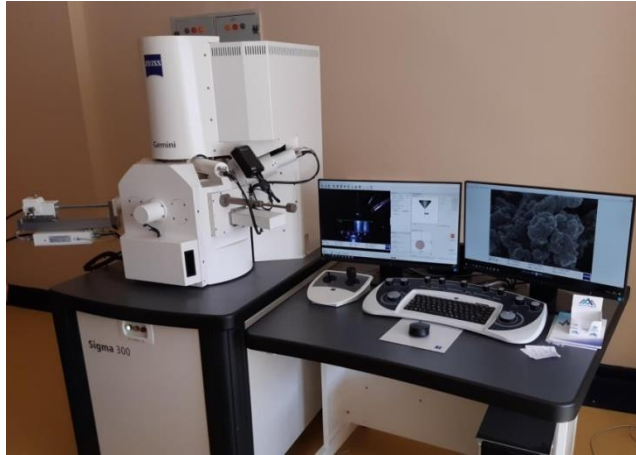
2.5. Sertlik Ölçümleri

Sertlik ölçümleri Vickers sertlik yöntemi kullanılarak Bitlis Eren Üniversitesi Yahya Eren İleri Araştırma Laboratuvarında bulunan Qness Q10M markalı mikro sertlik cihazında yapılmıştır (Şekil 2.4). Numunelerin yüzeyine 3-4 farklı yerden 0.5HV yük uygulanarak alınan değerlerin ortalaması alınmıştır.



Şekil 2.4. Qness Q10M markalı Mikro Sertlik Cihazı

Sertlik ölçümlerinden sonra numunelerin SEM görüntüleri ve EDS analizleri alınmıştır. Bu işlemler Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilim Araştırma ve Uygulama Merkezi laboratuvarında bulunan Zeiss marka taramalı elektron mikroskobunda yapılmıştır (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. Zeiss marka taramalı elektron mikroskobu

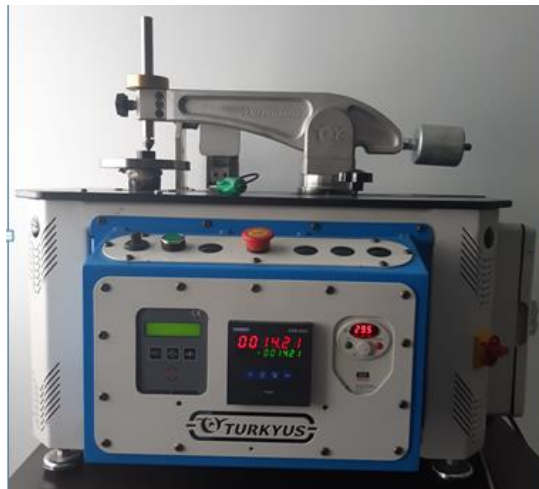
Ayrıca sıcaklığa bağı olarak yapı içerisinde farklı bileşmelerin oluşup oluşmadığını belirlemek için XRD analizleri yapılmıştır. Numunelerin XRD analizleri İnönü Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Laboratuvarında bulunan Rigaku marka RadB model XRD cihazında yapılmıştır (Şekil 2.6).



Şekil 2.6. Rigaku marka RadB model XRD cihazı

2.6. Aşınma Deneyi

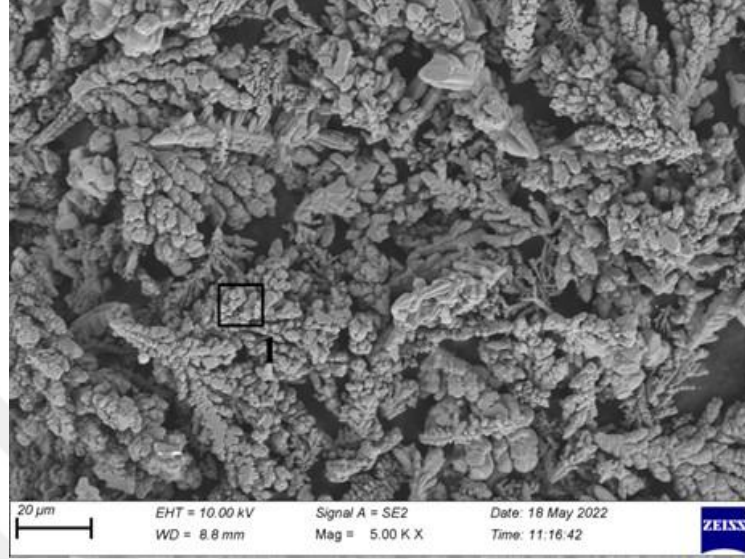
Numunelerin aşınma testleri Batman Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Yapılan test de 5 N yük ve 100 m aşınma mesafesi uygulanmıştır. 10^{-3} hassasiyete sahip terazide numunelerin aşınma öncesi ve aşınma sonrası tartıları alınarak, aşınma kaybı kütesel olarak hesaplanmıştır. Yapılan bu çalışmalar Turkyus marka ball-on-ring abrasiv aşınma cihazında gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.7).



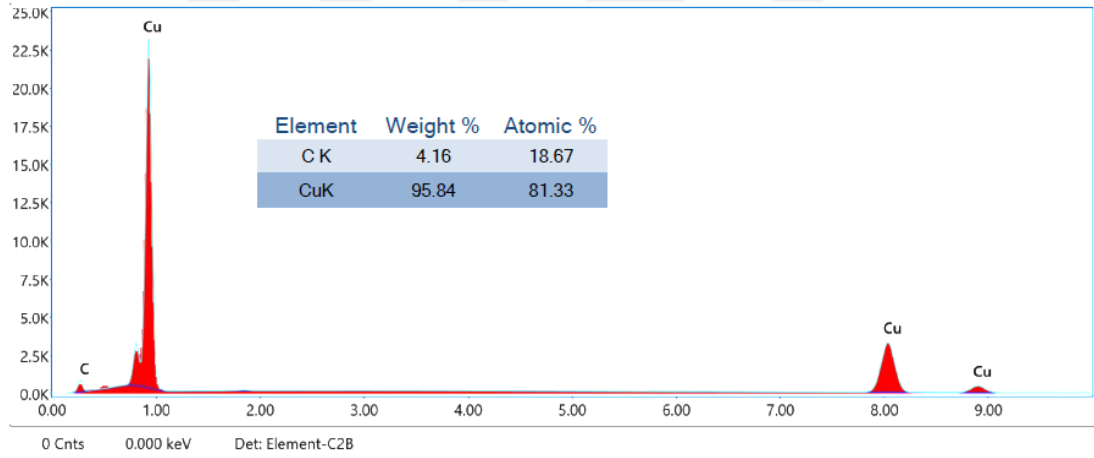
Şekil 2.7. Abrasiv aşınma cihazı

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Kullanılan Tozların Karakterizasyonu



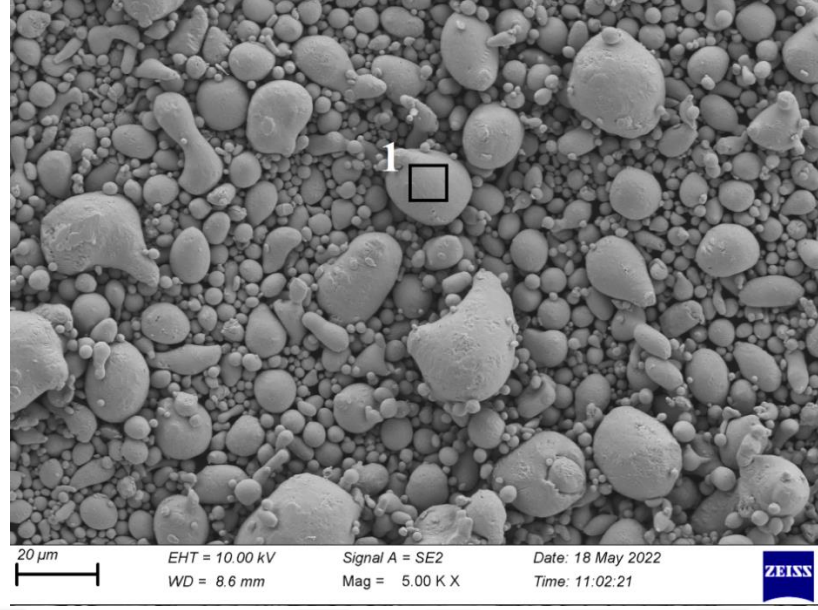
(a)



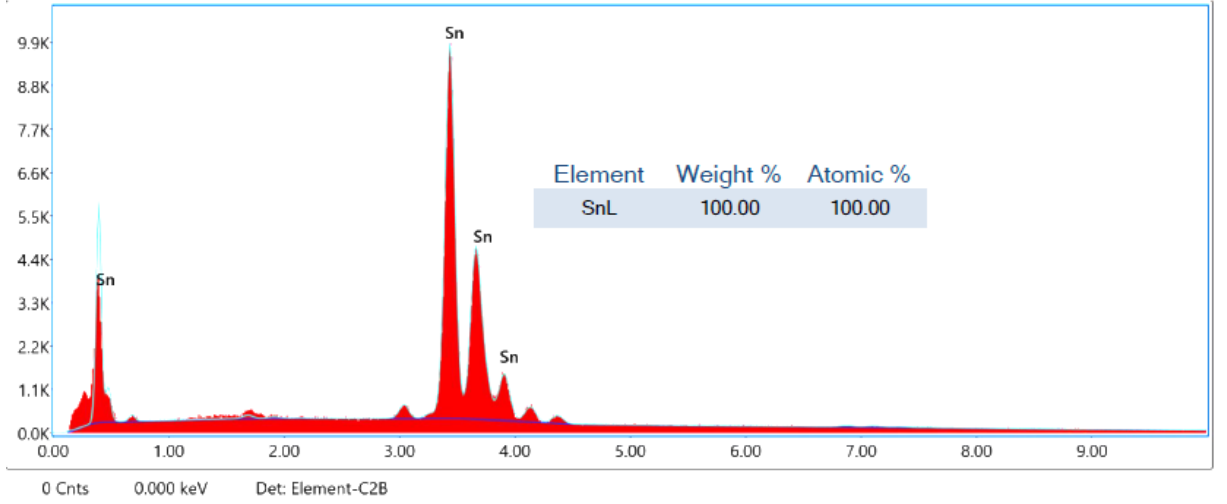
(b)

Şekil 3.1. a) Cu tozundan alınan SEM fotoraşı, b) 1 nolu EDS analizi

Şekil 3.1 'de Cu tozuna ait SEM fotoğrafı ve EDS analizi verilmiştir. Şekil 3.1-b de verilen 1 nolu EDS analiz sonucundan da anlaşıldığı gibi Cu ve C elementlerinin varlığı görülmektedir. % 95,84 Cu gibi yüksek bir değerle birlikte %4,16 C elementinin varlığı görülmektedir. C elementinin EDS analizi için tozların sabitlenerek yapıştırılmasında kullanılan karbon yapıştırma bandından geldiği düşünülmektedir.



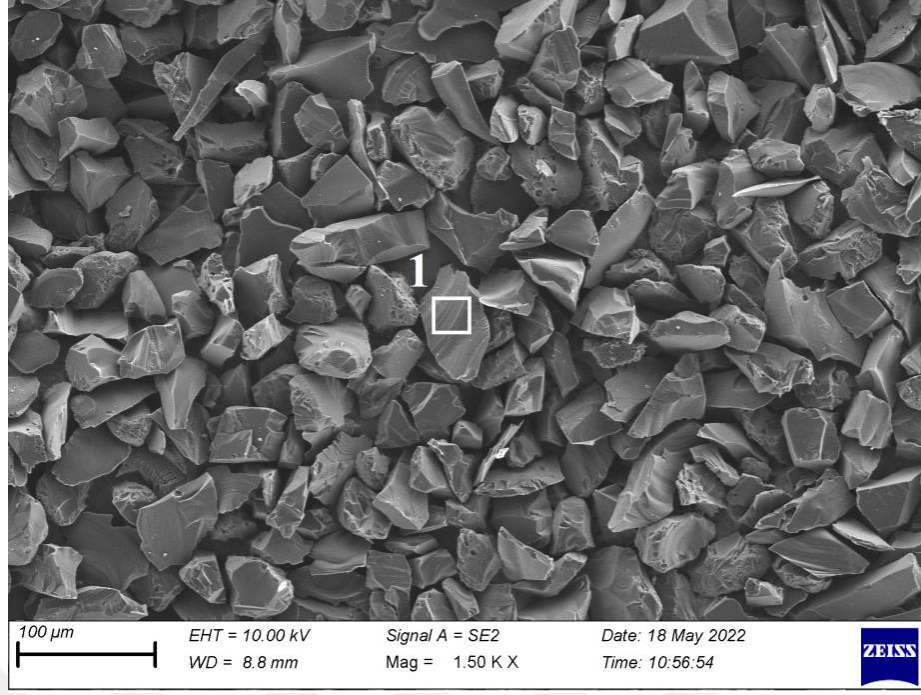
(a)



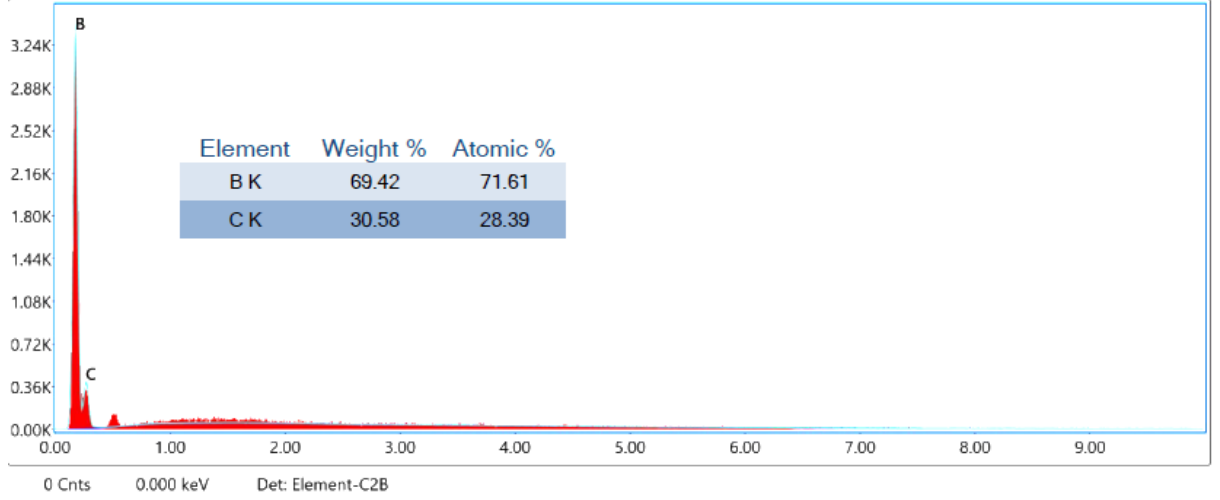
(b)

Şekil 3.2. Sn tozundan alınan a) SEM fotoğrafı, b) 1 nolu EDS analizi

Şekil 3.2 'de Sn tozuna ait SEM fotoğrafı ve EDS analizi verilmiştir. Şekil 3.2-b de verilen 1 nolu EDS analiz sonucundan da anlaşıldığı gibi toz yapısının %100 Sn elementinden oluştuğu görülmektedir.



(a)

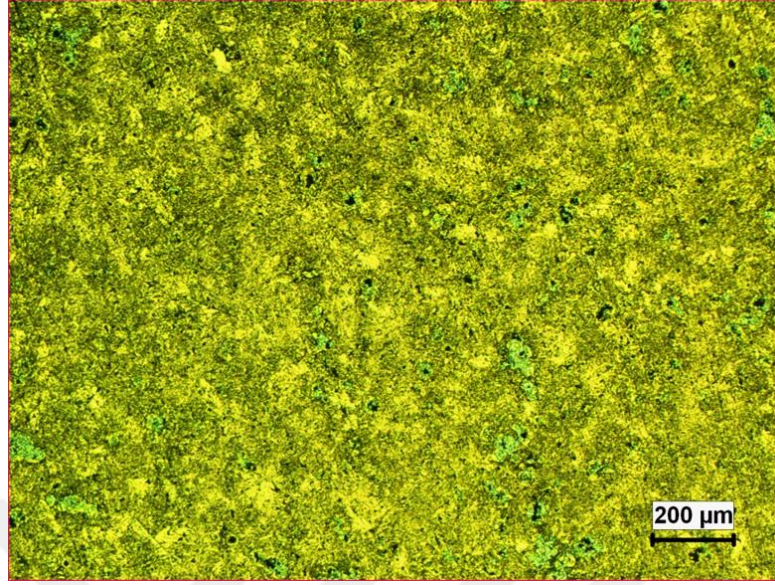


(b)

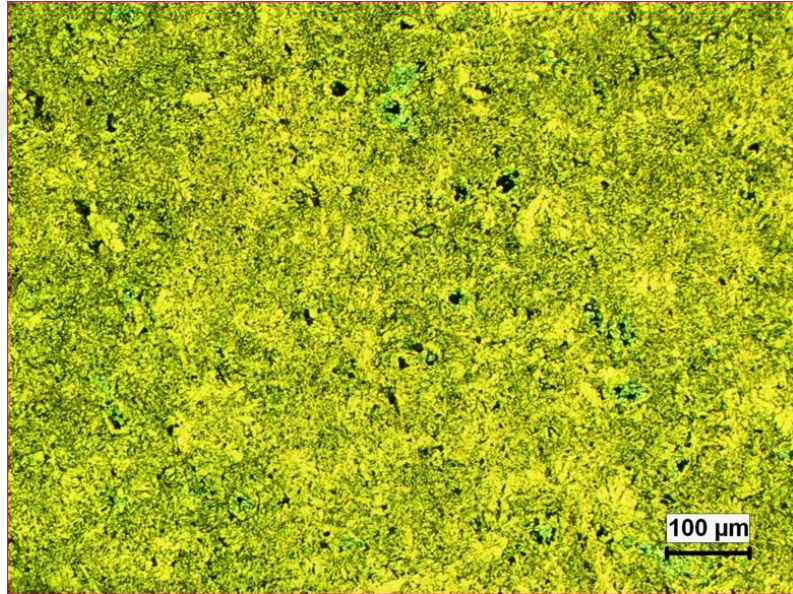
Şekil 3.3. B₄C tozundan alınan a) SEM fotoğrafı, b) 1 nolu EDS analizi

Şekil 3.3 'de B₄C tozuna ait SEM fotoğrafı ve EDS analizi verilmiştir. Şekil 3.3-b de verilen 1 nolu EDS analiz sonucundan da anlaşıldığı gibi B ve C elementlerinin varlığı görülmektedir. Ağırlıkça % 69,42 B elementi ve %30,58 C elementinin varlığı bize kimyasal olarak B₄C bileşiğinin varlığına işaret etmektedir.

3.2. 600 °C’ de Sinterlenen Numunelerin Karakterizasyonu



(a)

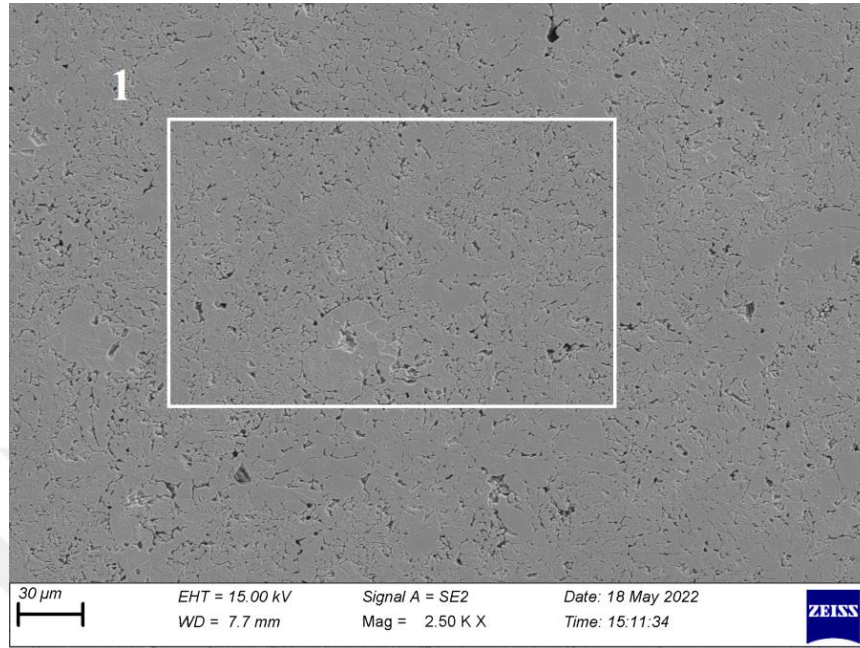


(b)

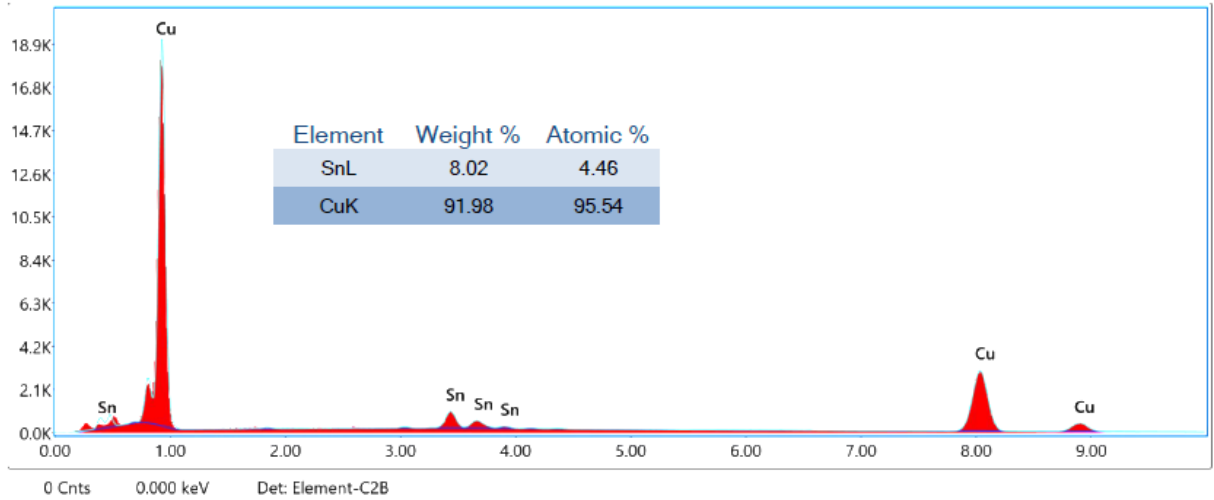
Şekil 3.4. 600 °C’de sinterlenmiş Cu-Sn esaslı numuneden alınan optik mikroyapı resimleri.

Şekil 3.4’te Cu-Sn tozunun presleme sonrası 600 °C’de sinterlenmiş numuneye ait optik mikroyapı resimleri görülmektedir. Mikroyapı da gözeneklerin mevcut olduğu görülmektedir. Toz metalürjisi ile imal edilen numunelerde gözenek kaçınılmazdır. Optik mikroyapı resimlerinde

(Şekil 3.4) beyaz bölgeler görülmektedir. Bu bölgelerin Sn elementi açısından zengin olduğu düşünülmektedir.



(a)

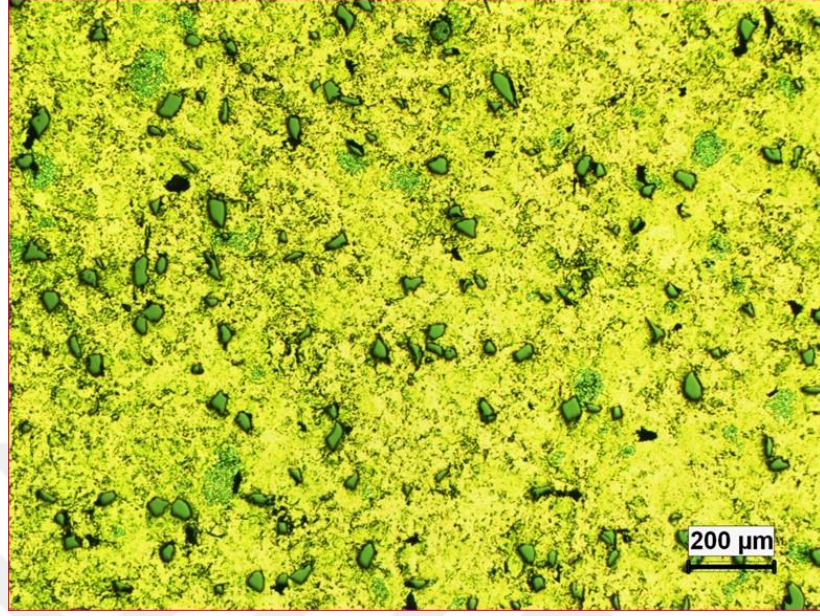


(b)

Şekil 3.5. 600 °C’de sinterlenmiş Cu-Sn numunesinden alınan a) SEM fotoğrafı, b) 1 nolu EDS analizi

600 °C’de sinterlenmiş Cu-Sn esaslı numunedan alınan SEM fotoğrafı ve EDS analiz sonuçları Şekil 3.5’te görülmektedir. Mikroyapıda gözeneklerin varlığı görülmektedir. 1 nolu alan EDS’nin sonucu incelendiğinde %91,98 Cu ve %8,02 Sn elementlerinin varlığı görülmektedir. Cu tozu içerisine %10 ilave edilen Sn tozunun yaklaşık olarak homojen dağılımına işaret etmektedir.

Yapıda O elementinin tespit edilmemesi, Cu tozunun veya Sn tozunun oksitlenmediğini göstermektedir.



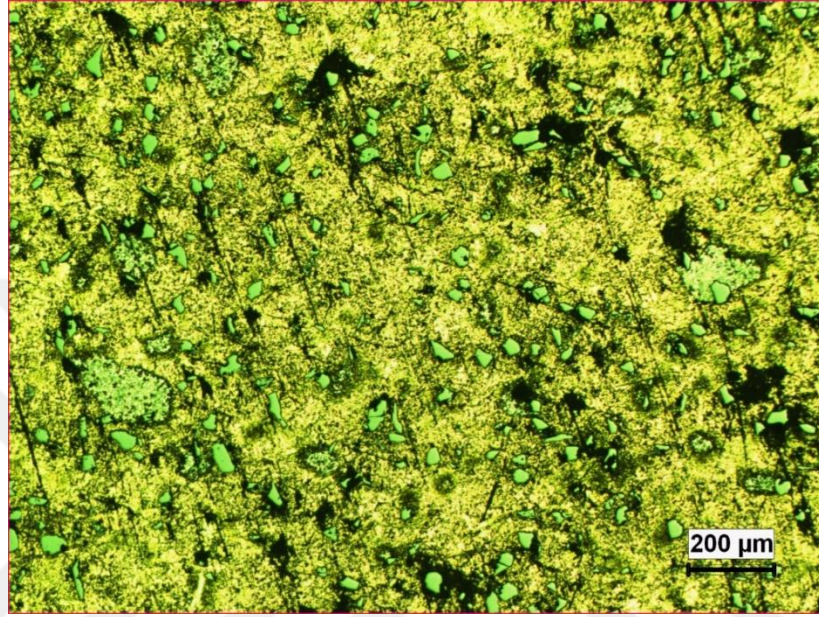
(a)



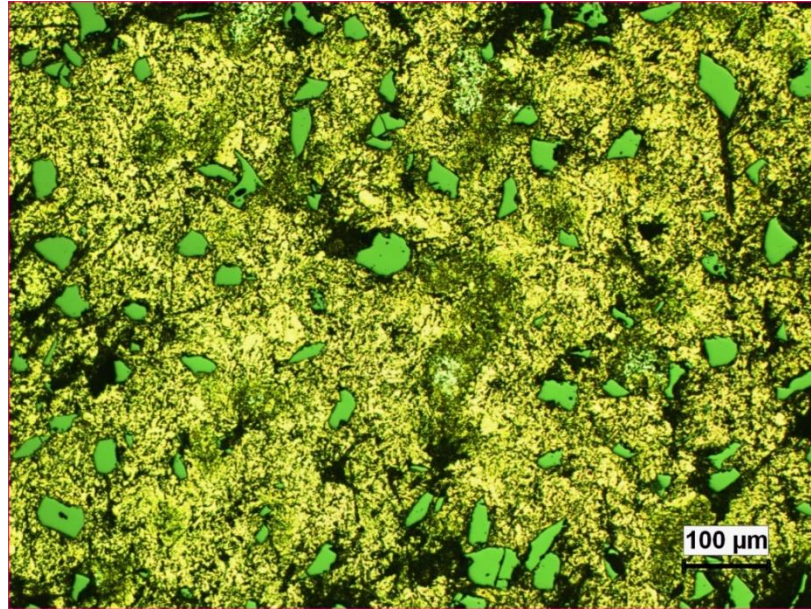
(b)

Şekil 3.6. 600 °C’de sinterlenmiş Cu-Sn + %2 B₄C esaslı numuneden alınan optik mikroyapı resimleri.

Şekil 3.6’da Cu-Sn + %2 B₄C tozunun presleme sonrası 600 °C’de sinterlenmiş numuneye ait optik mikroyapı resimleri görülmektedir. Mikroyapıda Sn elementleri açısından zengin beyaz bölgeler oluştuğu düşünülmektedir. Bu bölgelerde Cu ve Sn elementleri ile Cu_xSn_y tipi bileşiklerin oluştuğu düşünülmektedir. Siyah renkte gözeneklerinde mevcut olduğu ve %2 ilave edilen B₄C bileşik tozunun homojen bir dağılım gösterdiği Şekil 3.6’da görülmektedir.



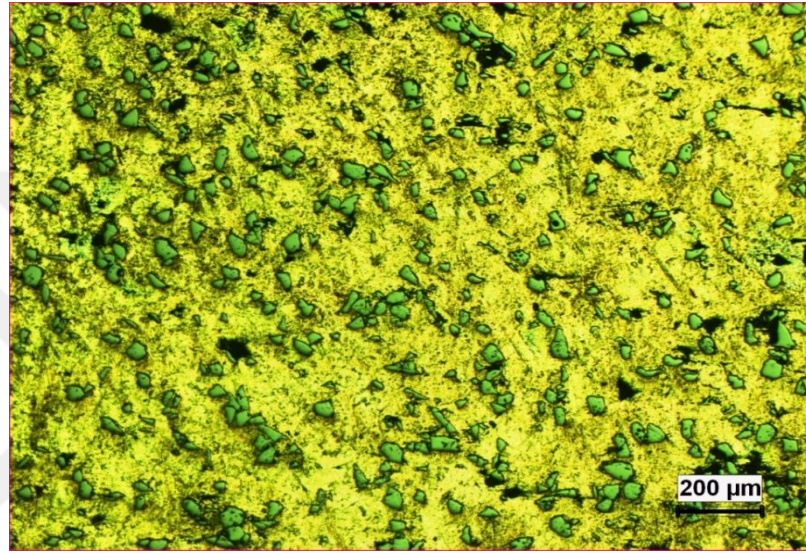
(a)



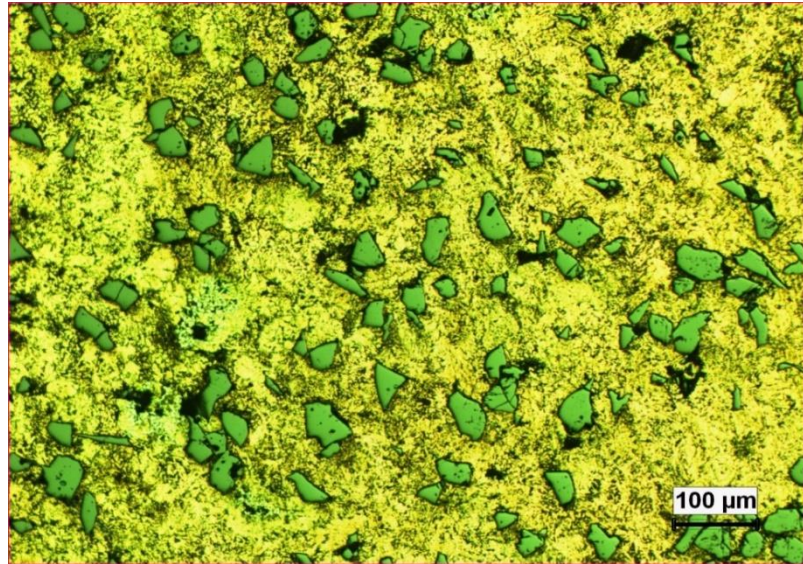
(b)

Şekil 3.7. 600 °C’de sinterlenmiş Cu-Sn + %4 B₄C esaslı numuneden alınan optik mikroyapı resimleri

Şekil 3.7’de Cu-Sn + %4 B₄C tozunun presleme sonrası 600 °C’de sinterlenmiş numuneye ait optik mikroyapı resimleri görülmektedir. Mikroyapıda Sn elementleri açısından zengin beyaz bölgeler oluştuğu ve %2 B₄C ilaveli numuneye göre daha geniş dağılım gösterdiği düşünülmektedir. Bu bölgelerde Cu ve Sn elementleri ile Cu_xSn_y tipi bileşiklerin oluştuğu düşünülmektedir. Siyah renkte gözeneklerinde %2 B₄C ilave edilen numuneye nazaran daha fazla olduğu Şekil 3.7’de görülmektedir. Bu numunede de B₄C tozu kompozit malzeme içerisinde homojen bir dağılım göstermiştir.



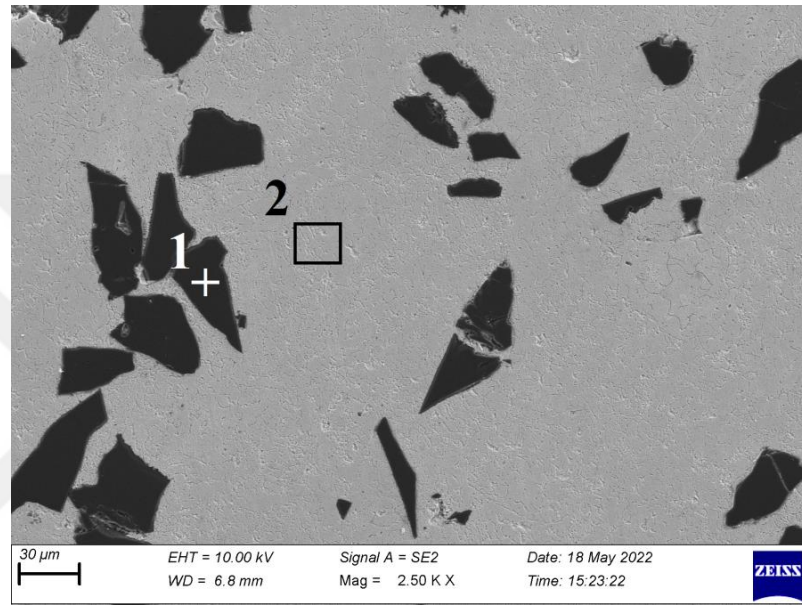
(a)



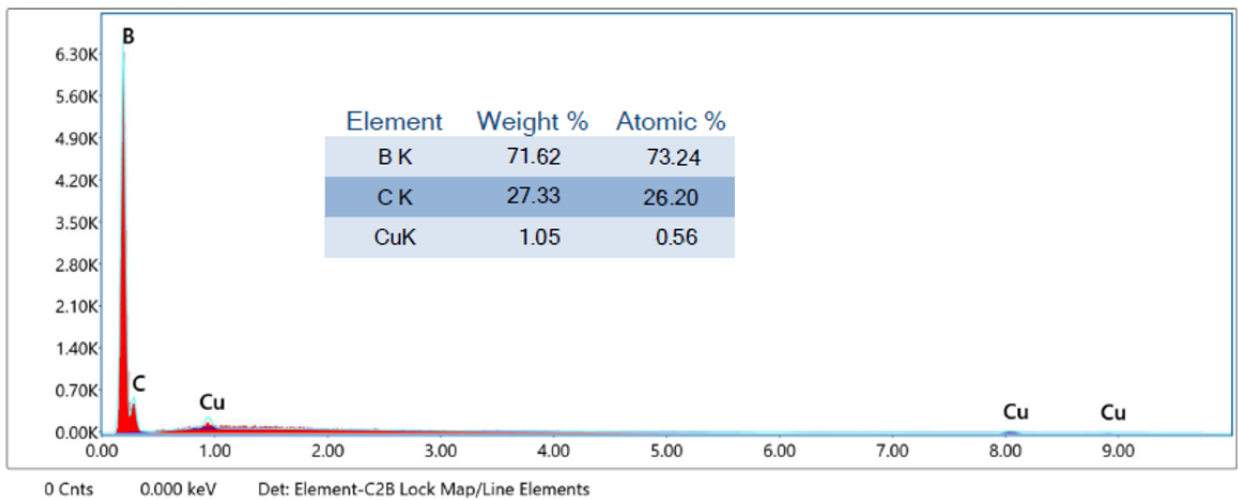
(b)

Şekil 3.8. 600 °C’de sinterlenmiş Cu-Sn + %6 B₄C esaslı numuneden alınan optik mikroyapı resimleri

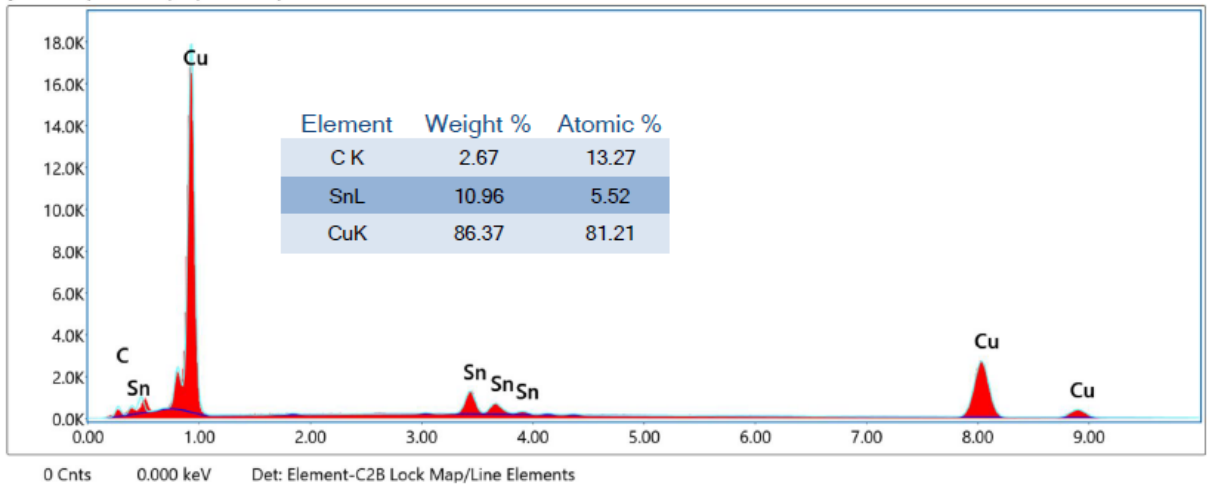
Şekil 3.8’de Cu-Sn + %6 B₄C tozunun presleme sonrası 600 °C’de sinterlenmiş numuneye ait optik mikroyapı resimleri görülmektedir. %6 B₄C ilaveli numunede mikroyapıda Sn elementleri açısından zengin beyaz bölgelerin daha az olduğu görülmektedir. Bu bölgelerde Cu ve Sn elementleri ile Cu_xSn_y tipi bileşiklerin oluştuğu düşünülmektedir. Siyah renkte gözeneklerinde %2 B₄C ilave edilen numuneye nazaran daha fazla olduğu fakat %4 B₄C ilaveli numuneye göre gözeneklerin daha az olduğu Şekil 3.7’te görülmektedir. Bu numunede de B₄C tozu kompozit malzeme içerisinde homojen bir dağılım göstermiştir.



(a)



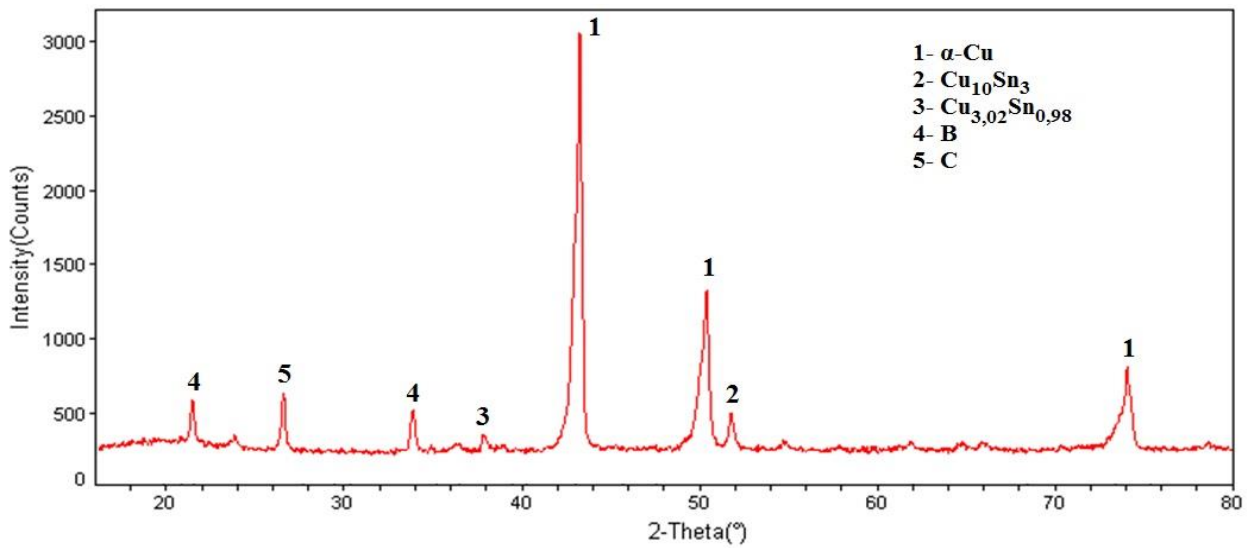
(b)



(c)

Şekil 3.9. 600 °C’de sinterlenmiş Cu-Sn+%6 B₄C numunesinden alınan a) SEM fotoğrafı, b) 1 nolu EDS analizi c) 2 nolu EDS analizi

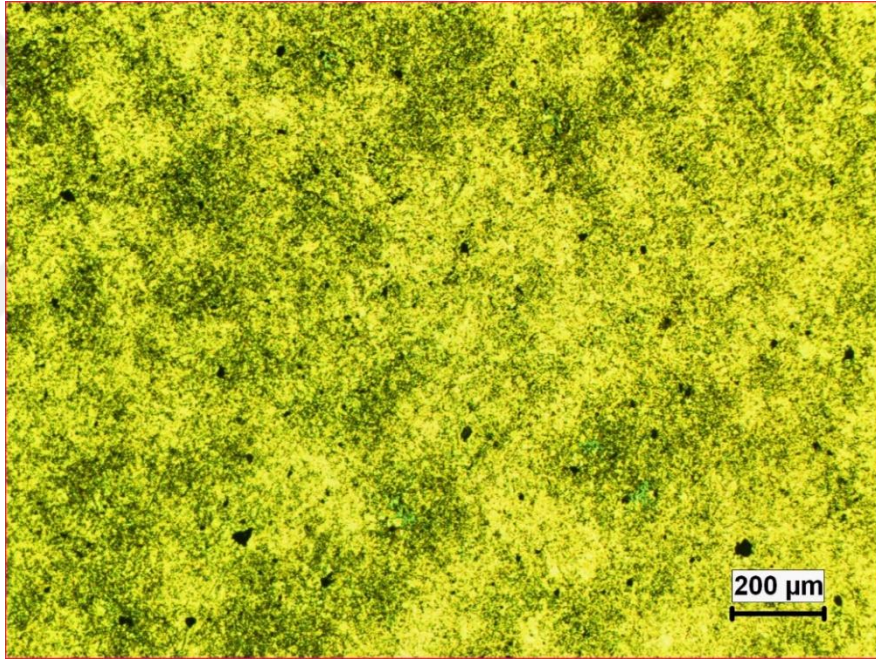
600 °C’de sinterlenmiş Cu-Sn + %6 B₄C esaslı numuneden alınan SEM fotoğrafı ve EDS analiz sonuçları Şekil 3.9’da görülmektedir. Mikroyapıda B₄C nin, Cu matris içerisine dağılımı görülmektedir. Koyu gri renkte ve köşegenli şekle sahip B₄C üzerinden alınan 1 nolu EDS noktasında B ve C elementlerinin varlığı B₄C bileşik tozuna işaret etmektedir. Cu matristen alınan 2 nolu alan EDS analizinde %86,37 Cu ve %10,96 Sn elementi tespit edilmiştir. Matris Cu tozuna ilave edilen %10 Sn elementi matris yapıda homojen olarak dağılım göstermiştir. Yapıda O elementinin tespit edilmemesi, Cu tozunun veya Sn tozunun oksitlenmediğini göstermektedir.



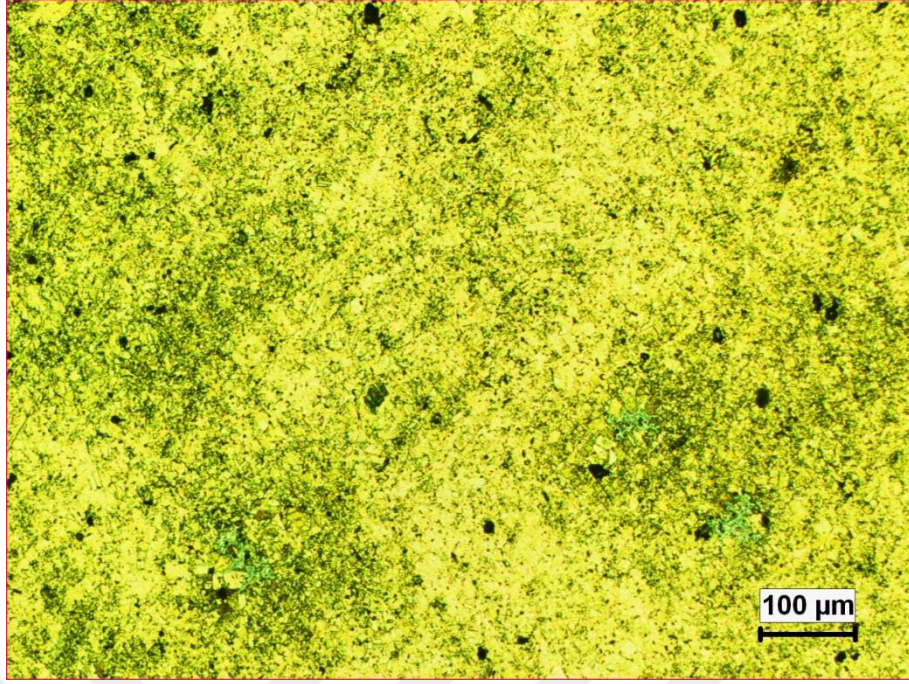
Şekil 3.10. Cu-Sn+%6 B₄C toz karışımından elde edilen ve 600 °C’de sinterlenmiş numuneden alınan XRD analiz sonucu

Cu-Sn+%6 B₄C toz karışımından elde edilen ve 600 °C’de sinterlenmiş numuneden alınan XRD analizi Şekil 3.10’de görülmektedir. XRD analizi sonucunda farklı tür bileşiklerin oluştuğu tespit edilmiştir. Ana faz matris tozu olan α -Cu elementi olarak tespit edilmiştir. Bunun yanında Cu₁₀Sn₃, Cu_{3,02}Sn_{0,98} bileşiklerinin oluştuğu ve B ile C elementlerinin varlığı tespit edilmiştir. Cu ile Sn denge diyagramı incelendiğinde (Şekil 1.2) Cu ile Sn elementleri ile farklı sıcaklıklarda Cu_xSn_y tipi bileşiklerin oluşabileceği görülmektedir. 600 °C’de sinterlenmiş Cu-Sn+%6 B₄C numunesinden alınan EDS analizlerinde (Şekil 3.9) tespit edilen elementler ile ilgili olarak muhtemel oluşabilecek bileşiklerin, aynı numuneden alınan XRD analizi ile uyum sağladığı görülmüştür.

3.3. 700 °C’ de Sinterlenmiş Numunelerin Karakterizasyonu



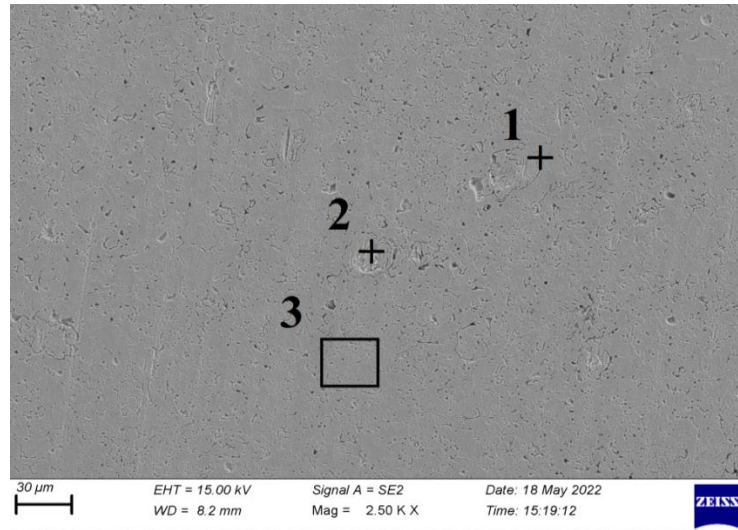
(a)



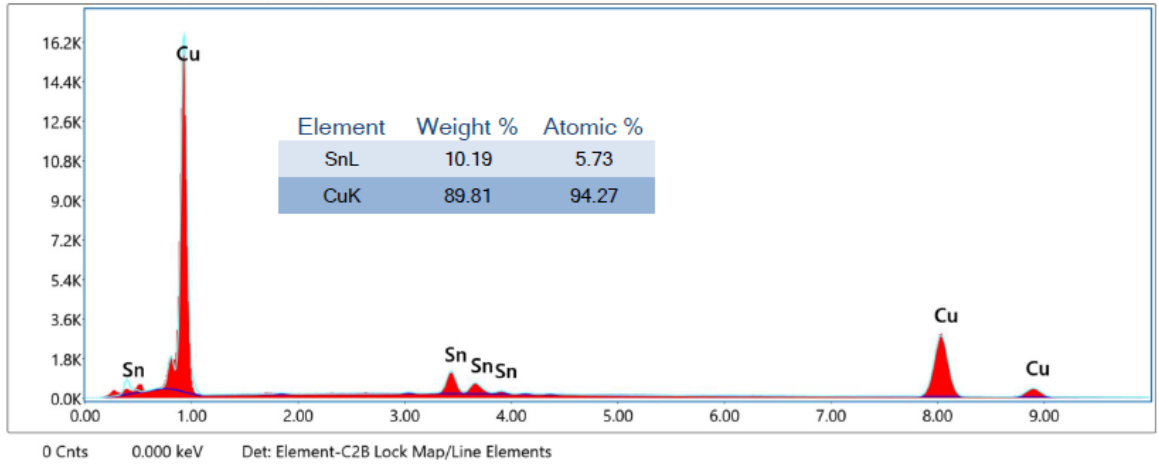
(b)

Şekil 3.11. 700 °C’de sinterlenmiş Cu-Sn esaslı numuneden alınan optik mikroyapı resimleri.

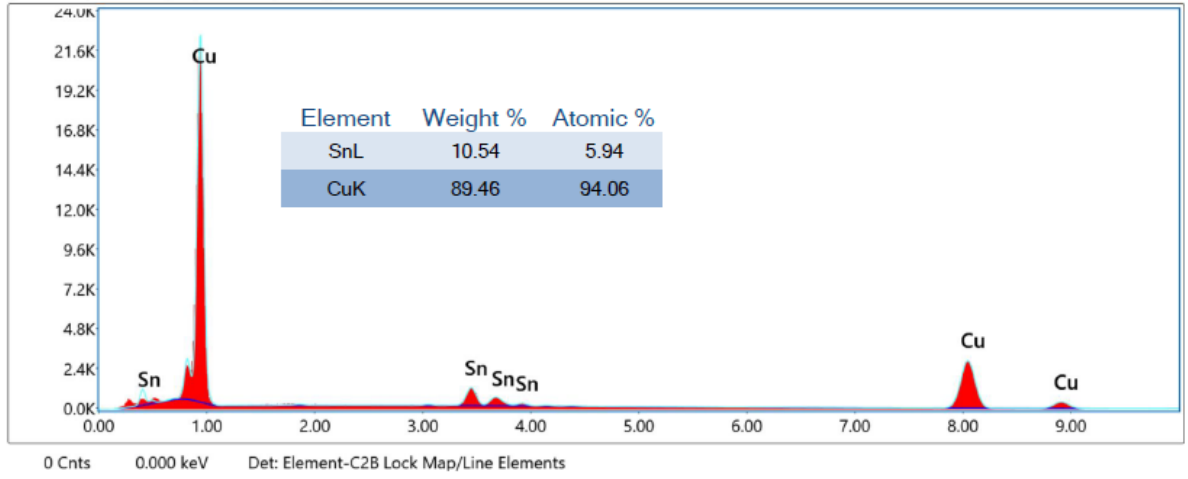
Şekil 3.11’de Cu-Sn tozunun presleme sonrası 700 °C’de sinterlenmiş numuneye ait optik mikroyapı resimleri görülmektedir. Mikroyapı da gözeneklerin mevcut olduğu görülmektedir. Toz metalürjisi ile imal edilen numunelerde gözenek kaçınılmazdır. Optik mikroyapı resimlerinde (Şekil 3.11) beyaz bölgeler görülmektedir. Bu bölgelerin Sn elementi açısından zengin olduğu düşünülmektedir. 600 °C de sinterlenen Cu-Sn numunesine göre optik mikroyapıda görülen beyaz bölgelerin azaldığı görülmektedir.



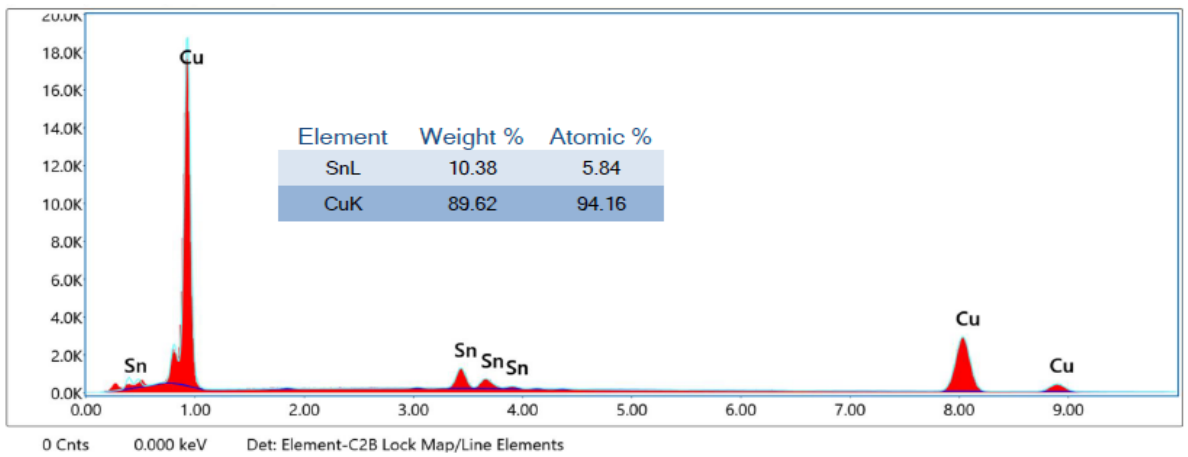
(a)



(b)



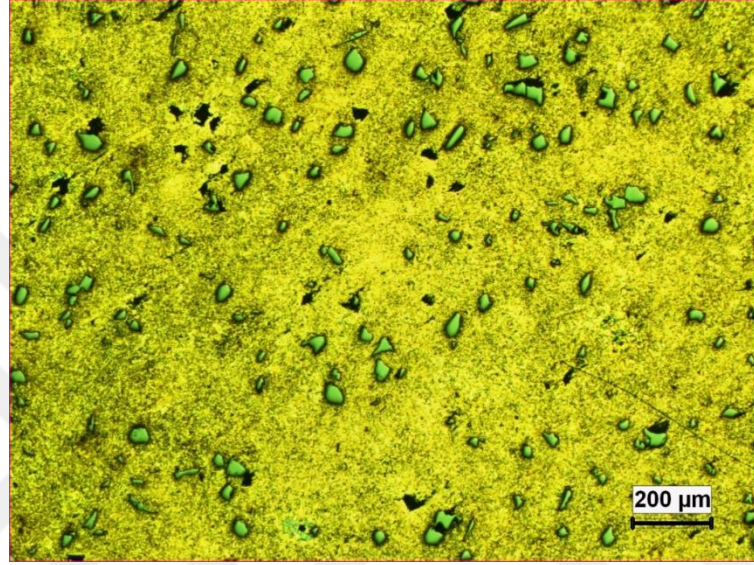
(c)



(d)

Şekil 3.12. 700 °C’de sinterlenmiş Cu+%10Sn numunesinden alınan a) SEM fotoğrafı, b) 1 nolu EDS analizi c) 2 nolu EDS analizi d) 3 nolu EDS analizi

700 °C’de sinterlenmiş Cu-Sn esaslı numuneden alınan SEM fotoğrafı ve EDS analiz sonuçları Şekil 3.12’de görülmektedir. Mikroyapıda gözeneklerin varlığı görülmektedir. 1, 2 ve 3 nolu EDS’lerin sonuçları incelendiğinde yaklaşık olarak %90 Cu ve %10 Sn elementlerinin varlığı görülmektedir. Cu tozu içerisine %10 ilave edilen Sn tozunun yaklaşık olarak homojen dağılımına işaret etmektedir. Yapıda O elementinin tespit edilmemesi, Cu tozunun veya Sn tozunun oksitlenmediğini göstermektedir.



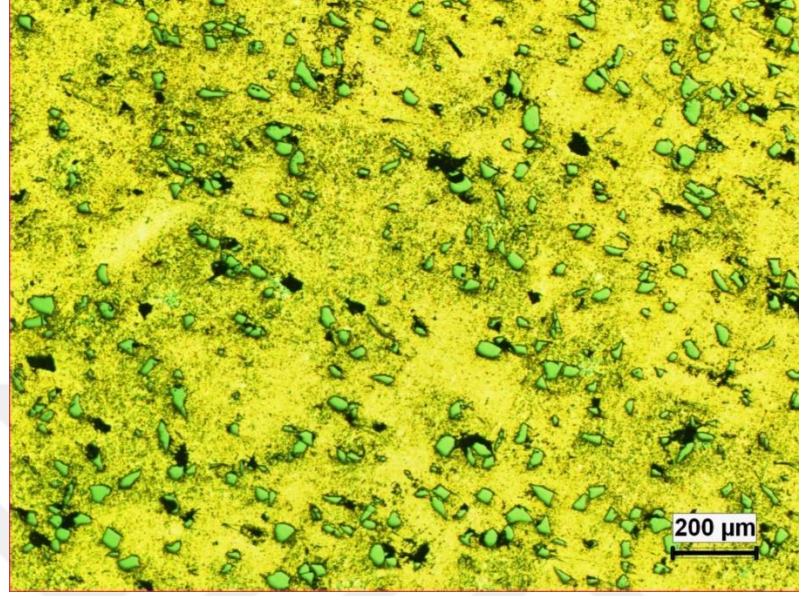
(a)



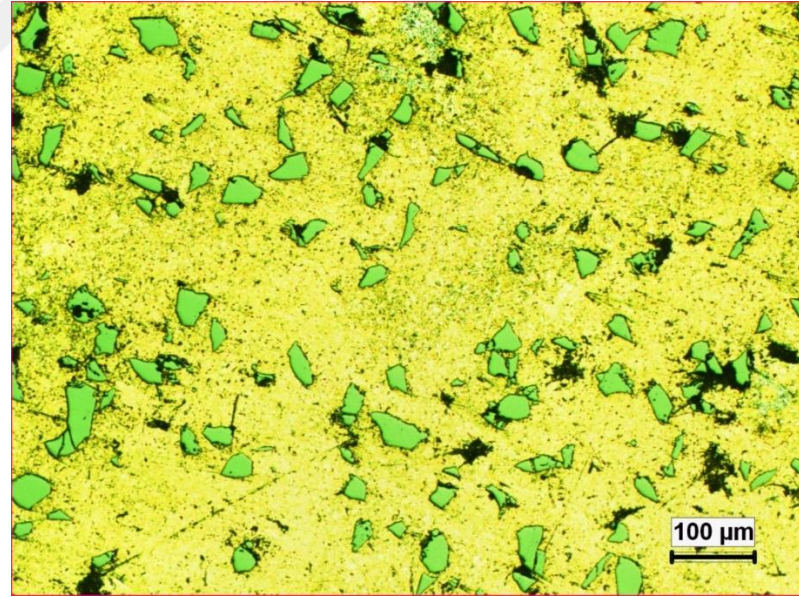
(b)

Şekil 3.13. 700 °C’de sinterlenmiş Cu-Sn + %2 B₄C esaslı numuneden alınan optik mikroyapı resimleri

Şekil 3.13'te Cu-Sn + %2 B₄C tozunun presleme sonrası 700 °C'de sinterlenmiş numuneye ait optik mikroyapı resimleri görülmektedir. Mikroyapıda. Gözeneklerin varlığı görülmektedir. Cu-Sn elementlerinin homojen dağılımı ile Cu_xSn_y tipi bileşiklerin oluştuğu düşünülmektedir. %2 ilave edilen B₄C bileşik tozunun homojen bir dağılım gösterdiği Şekil 3.13'te görülmektedir.



(a)

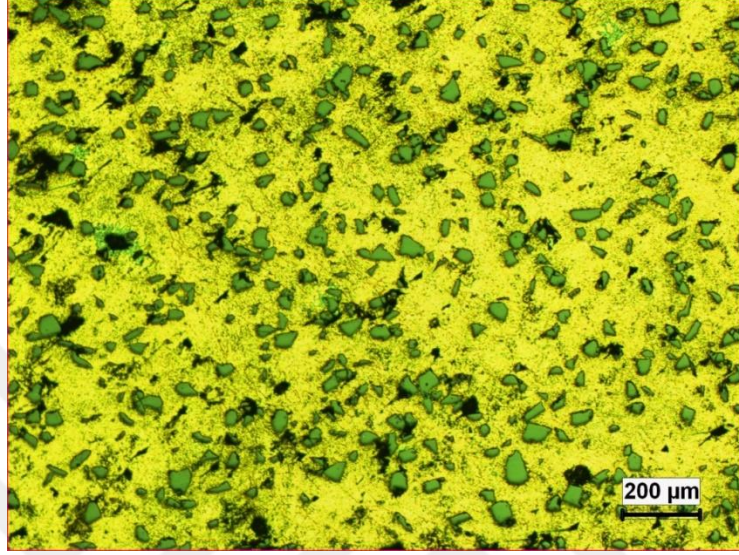


(b)

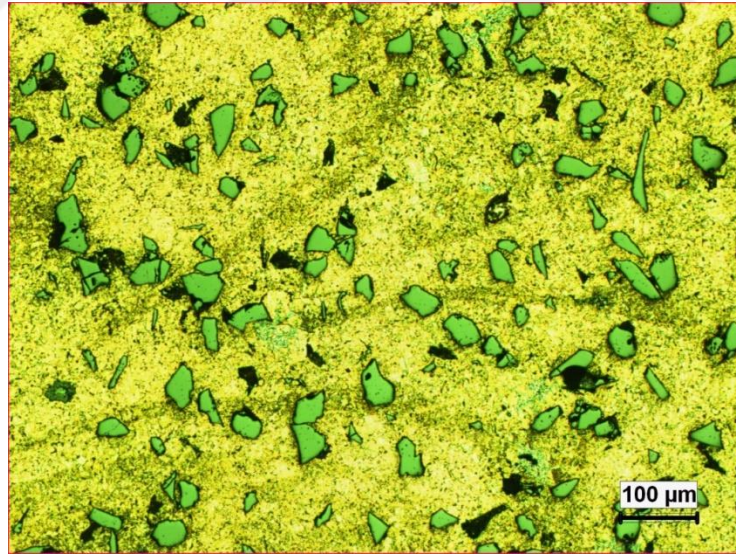
Şekil 3.14. 700 °C'de sinterlenmiş Cu-Sn + %4 B₄C esaslı numuneden alınan optik mikroyapı resimleri

Şekil 3.14'te Cu-Sn + %4 B₄C tozunun presleme sonrası 700 °C'de sinterlenmiş numuneye ait optik mikroyapı resimleri görülmektedir. Mikroyapıda sinterleme sıcaklığının artmasıyla Sn

elementlerinin Cu içerisinde çözündüğü ve beyaz renkteki bölgelerin kaybolduğu optik mikroyapı resimlerinde görülmektedir (Şekil 3.14). Ana matris yapı içerisinde Cu ve Sn elementleri ile Cu_xSn_y tipi bileşiklerin oluştuğu düşünülmektedir. Bu numunede de B_4C tozu kompozit malzeme içerisinde homojen bir dağılım göstermiştir.



(a)

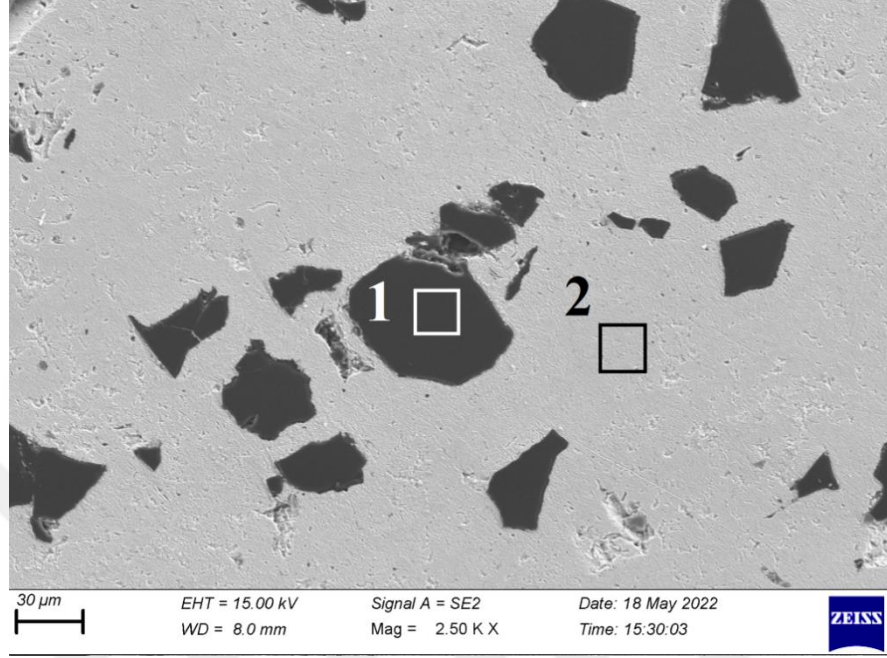


(b)

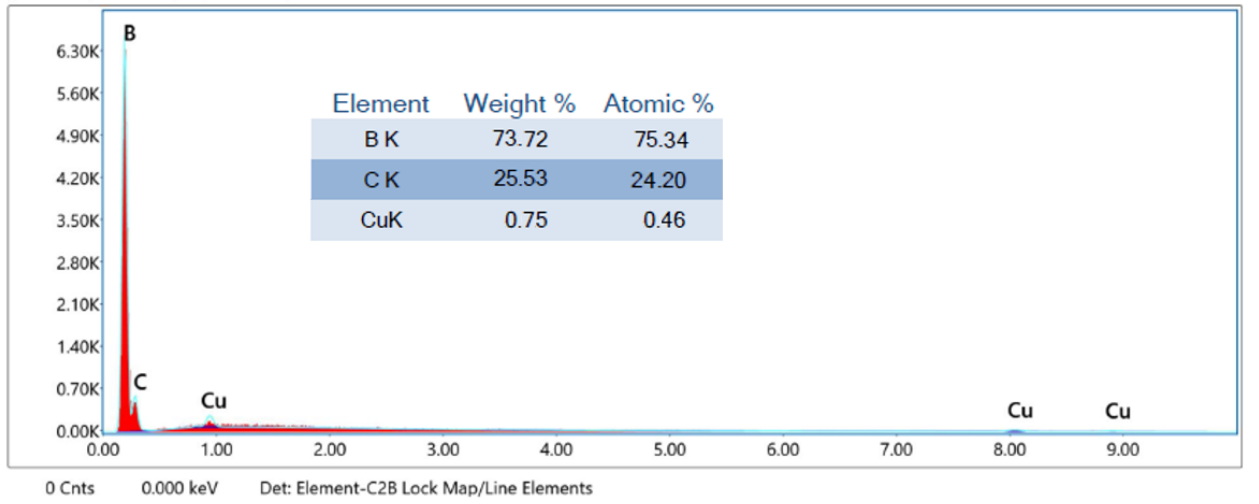
Şekil 3.15. 700 °C’de sinterlenmiş Cu-Sn + %6 B_4C esaslı numuneden alınan optik mikroyapı resimleri

Şekil 3.15’te Cu-Sn + %6 B_4C tozunun presleme sonrası 700 °C’de sinterlenmiş numuneye ait optik mikroyapı resimleri görülmektedir. Mikroyapıda sinterleme sıcaklığının artmasıyla Sn elementlerinin Cu içerisinde çözündüğü ve beyaz renkteki bölgelerin kaybolduğu optik mikroyapı

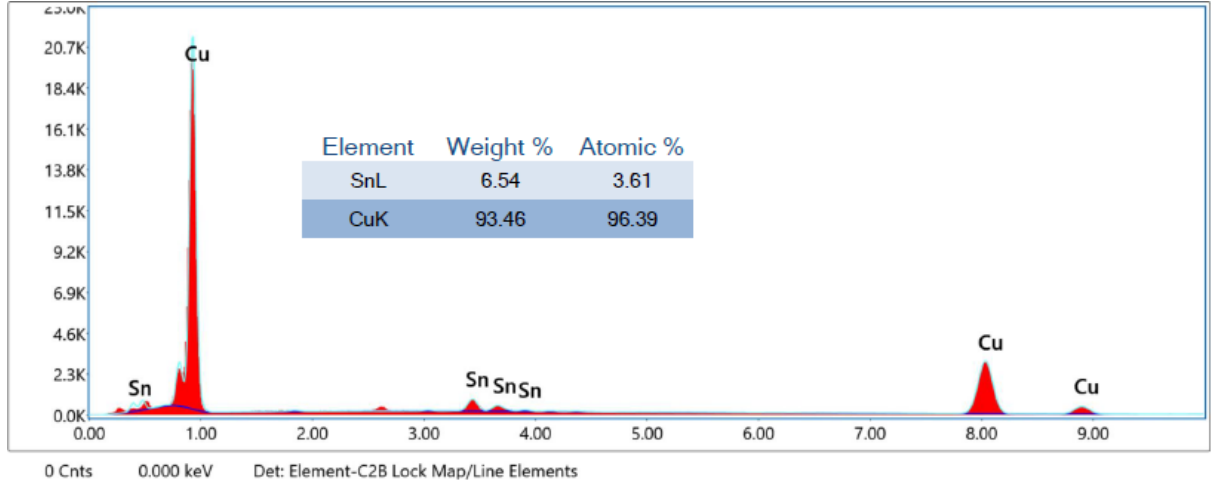
resimlerinde görülmektedir (Şekil 3.15). Ana matris yapı içerisinde Cu ve Sn elementleri ile Cu_xSn_y tipi bileşiklerin oluştuğu düşünülmektedir. Bu numunede de B_4C tozu kompozit malzeme içerisinde homojen bir dağılım göstermiştir.



(a)



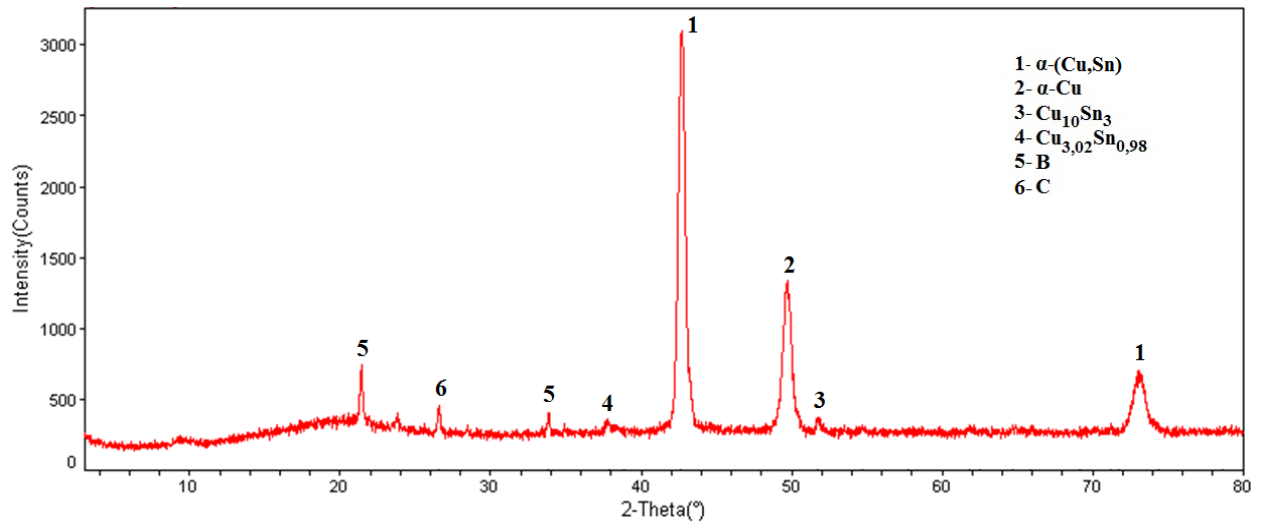
(b)



(c)

Şekil 3.16. 700 °C’de sinterlenmiş Cu+%10Sn+%6B₄C numunesinden alınan a) SEM fotoğrafı, b) 1 nolu EDS analizi c) 2 nolu EDS analizi

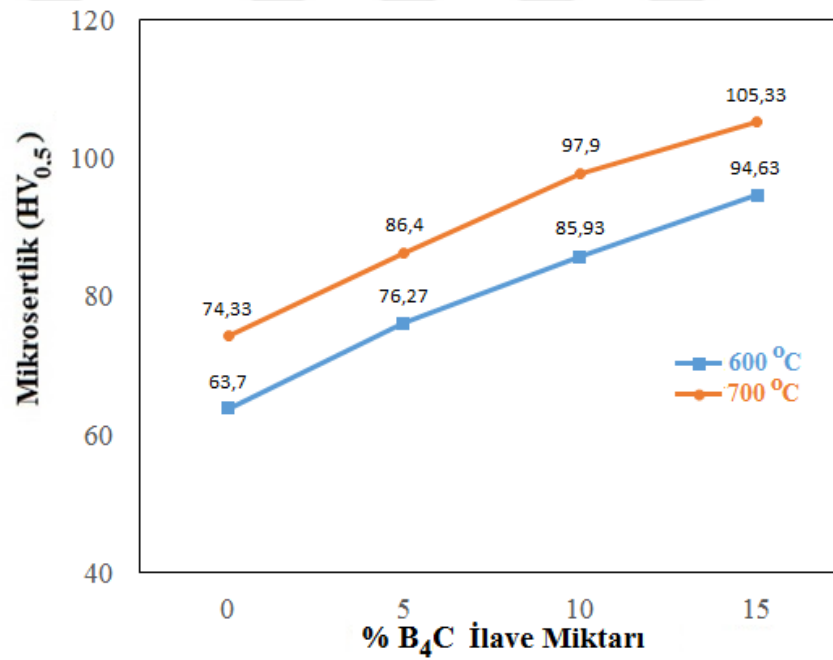
700 °C’de sinterlenmiş Cu-Sn + %6 B₄C esaslı numuneden alınan SEM fotoğrafı ve EDS analiz sonuçları Şekil 3.16’da görülmektedir. Mikroyapıda B₄C nin, Cu matris içerisine dağılımı görülmektedir. Koyu gri renkte ve köşegenli şekle sahip B₄C üzerinden alınan 1 nolu EDS alanında B ve C elementlerinin varlığı B₄C bileşik tozuna işaret etmektedir. Cu matristen alınan 2 nolu alan EDS analizinde %93,46 Cu ve %6,54 Sn elementi tespit edilmiştir. Yapıda O elementinin tespit edilmemesi, Cu tozunun veya Sn tozunun oksitlenmediğini göstermektedir.



Şekil 3.17. Cu-Sn+%6 B₄C toz karışımından elde edilen ve 700 °C’de sinterlenmiş numuneden alınan XRD analiz sonucu

Cu-Sn+%6 B₄C toz karışımından elde edilen ve 700 °C’de sinterlenmiş numuneden alınan XRD analizi Şekil 3.17’de görülmektedir. XRD analizi sonucunda farklı tür bileşiklerin oluştuğu tespit edilmiştir. Ana faz matris tozu ve ilave edilen Sn elementleri ile α -(Cu,Sn) olarak tespit edilmiştir. Bunun yanında α -Cu, Cu₁₀Sn₃, Cu_{3,02}Sn_{0,98} bileşiklerinin oluştuğu ve B ile C elementlerinin varlığı tespit edilmiştir. Cu ile Sn denge diyagramı incelendiğinde (Şekil 1.2) Cu ile Sn elementleri ile farklı sıcaklıklarda Cu_xSn_y tipi bileşiklerin oluşabileceği görülmektedir. 700 °C’de sinterlenmiş Cu-Sn+%6 B₄C numunesinden alınan EDS analizlerinde (Şekil 3.16) tespit edilen elementler ile ilgili olarak muhtemel oluşabilecek bileşiklerin, aynı numuneden alınan XRD analizi ile uyum sağladığı görülmüştür.

3.4. Mikrosertlik İncelemesi

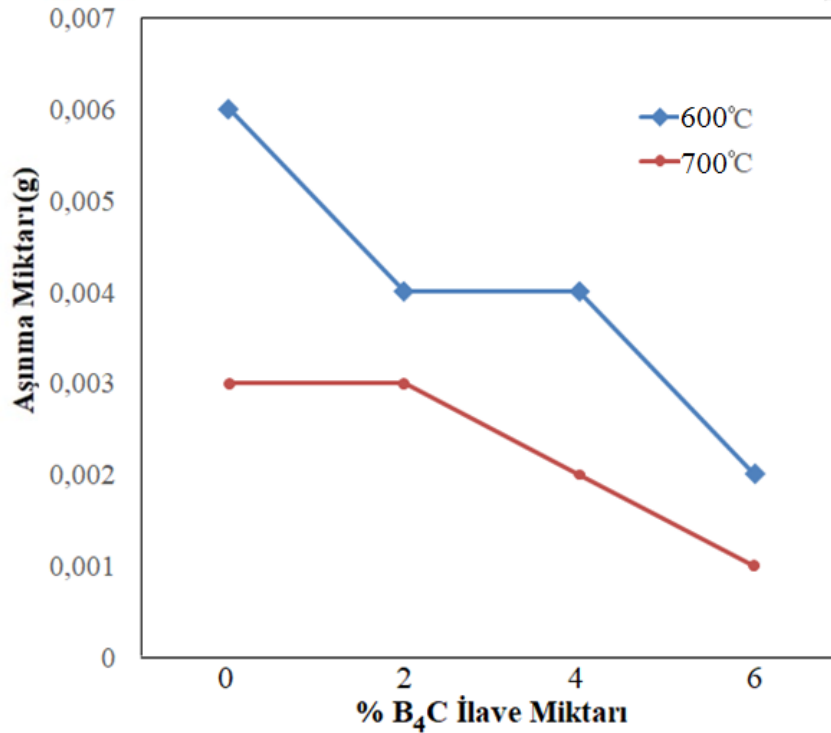


Şekil 3.18. Numunelerin mikrosertlik grafiği

Farklı sinterleme sıcaklıklarına bağlı olarak Cu-Sn tozu ve içerisine farklı oranlarda (%2, %4, %6) B₄C tozu ilave edilerek elde edilen numunelerin sinterleme sonrası mikrosertlik değerleri Şekil 3.18’de verilmiştir. Cu tozu içerisine %10 Sn tozunun ilave edilmesi ile elde edilen numunelerin 600 °C sinterleme sıcaklığında sinterlenmesi sonucu mikrosertlik değeri 63,7 HV olarak ölçülmüştür. Cu-Sn tozu içerisine %2 B₄C tozu ilave edilerek elde edilen numunede 76,27 HV, %4 B₄C tozu ilave edilerek elde edilen numunede 85,93 HV, %6 B₄C tozu ilave edilerek elde edilen numunede ise 94,63 HV mikrosertlik değerleri ölçülmüştür. B₄C tozu ilave edilmesi ile

mikrosertlik değeri artmıştır. Sinterlene sıcaklığının 700 °C olduğu numunelerin mikrosertlik değerleri incelendiğinde, Cu tozu içerisine %10 Sn tozunun ilave edilmesi ile elde edilen numunede 74,33 HV mikrosertlik değeri tespit edilmiştir. Sinterleme sıcaklığının artmasıyla Cu-Sn denge diyagramına bakıldığında (Şekil 1.2) farklı faz bölgelerinin olduğu ve Sn elementinin çözünmesinin arttığı düşünülmektedir. Sn çözünmesi ile farklı türde Cu_xSn_y tip intermetalik bileşiklerinin olduğu ve bu bileşiklerinde mikrosertlik değerini arttırdığı düşünülmektedir. Ayrıca Cu-Sn tozu içerisine ilave edilen B_4C tozu ile mikrosertlik miktarının arttığı görülmektedir. Cu-Sn tozu içerisine %2 B_4C tozu ilave edilerek elde edilen numunede 86,4 HV, %4 B_4C tozu ilave edilerek elde edilen numunede 97,9 HV, %6 B_4C tozu ilave edilerek elde edilen numunede ise 105,33 HV mikrosertlik değerleri ölçülmüştür. B_4C toz miktarının artmasıyla (%2, %4, %6) da mikrosertlik değeri artmıştır.

3.5. Aşınma Deney Sonuçları



Şekil 3.19. Farklı sinterleme sıcaklıkları ve % B_4C ilave edilen numunelere ait aşınma miktarı grafiği

Farklı sinterleme sıcaklıkları ile Cu-Sn tozu içerisine farklı oranlarda (%2, %4, %6) B_4C katılarak elde edilen numunelere ait aşınma miktarını gösteren grafik Şekil 3.19’da verilmiştir. Cu içerisine %10 oranında Sn ilave edilerek 600 °C de sinterlenmesi ile elde edilen numunede en fazla

aşınma miktarı elde edilmiştir. Cu-Sn toz karışımı içerisinde ilave edilen B_4C tozu ile aşınma miktarının azaldığı görülmektedir. Mikrosertlik grafiği ile de uyum sağlayan bu davranışta B_4C tozu ilavesi, aşınma direncini arttırmıştır. 700 °C sinterleme sıcaklığı ile sinterlenen numunelerin tümünde aşınma miktarının 600 °C ile sinterlenen numunelere göre düştüğü görülmektedir. Mikroyapı incelemelerinde matris tozu olan Cu-Sn toz karışımının 700 °C sinterleme sıcaklığında daha fazla birbiri içerisinde çözündüğü ve ilave edilen B_4C toz partikül takviyesi ile birlikte mikrosertliğin arttığı bahsedilmişti. Sinterleme sıcaklığının artmasına bağlı olarak aşınma miktarı düşmüştür.



4. SONUÇ

Toz metalurjisi üretim yöntemi kullanılarak Cu tozuna ağırlıkça %10Sn tozu karıştırılmıştır. İlave olarak bu karışıma %2, %4, %6 oranlarda B₄C tozu karıştırılmıştır. Hazırlanan toz karışımları preslenerek elde edilen numuneler 600 °C ve 700 °C sıcaklıklarda sinterlenmiştir. Sinterlendikten sonra numunelerin mikroyapı analizleri yapılmıştır. Daha sonra numunelerin mikrosertlik ve aşınma testleri yapılarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

600 °C’de sinterlenen numunelerde;

- ✓ En düşük gözenek miktarı Cu+%10Sn numunesinde görülmüştür. B₄C oranı arttıkça gözeneklikte hafif artış olmuştur.
- ✓ Cu+%10Sn matrisinin ve B₄C tozunun matris fazı içerisinde dağılımının mikroyapı görüntüleri alınmıştır.
- ✓ B₄C tozunun ilave edildiği numunenin XRD analizinde Cu, Sn, B, C, O elementlerinden oluşan ana faz matris tozu olan α -Cu elementi olarak tespit edilmiştir. Bunun yanında Cu₁₀Sn₃, Cu_{3,02}Sn_{0,98} bileşiklerinin oluştuğu ve B ile C elementlerinin varlığı tespit edilmiştir.
- ✓ B₄C matris faz içerisinde homojen olarak dağılmıştır.
- ✓ 600 °C’de sinterlenmiş numunelerde B₄C’nin ilave edilmesiyle sertlik yükselmiştir. En yüksek sertlik %6 B₄C ilave edilen numunede 94,63 HV olarak ölçülmüştür.
- ✓ Aşınma sonuçlarına bakıldığında en fazla aşınan numune Cu+%10Sn numunesinde görülmüştür. Cu-Sn toz karışımı içerisine ilave edilen B₄C tozu ile aşınma miktarının azaldığı görülmektedir. Mikrosertlik grafiği ile de uyum sağlayan bu davranışta B₄C tozu ilavesi, aşınma direncini arttırmıştır.

700 °C’de sinterlenen numunelerde;

- ✓ Sıcaklığın artmasıyla gözenek miktarı biraz daha azalmıştır.
- ✓ Farklı büyütmelerde mikroyapı görüntüleri alınmıştır. Ayrıca sıcaklığın artışıyla yapı içerisinde Sn’nin Cu içerisinde çözünürlüğünün arttığı ve Cu_xSn_y tipi bileşikler oluşturduğu düşünülmektedir.
- ✓ Sıcaklığın artışıyla Cu₁₀Sn₃, Cu_{3,02}Sn_{0,98} gibi intermetalik bileşikler oluşmuştur.

- ✓ 700 °C’de sinterlenmiş B₄C ilave edilen numunenin XRD analiz sonuçlarında α -Cu, Cu₁₀Sn₃, Cu_{3,02}Sn_{0,98} gibi intermetalik bileşikler ve B ve C elementinin varlığı tespit edilmiştir.
- ✓ 700 °C’de sinterlenmiş numunelerin sertlik değerleri artmıştır. Bu noktada sıcaklığın artmasıyla yapı içerisinde faz dönüşümlerinin oluşumu sertliğin artışına neden olmuştur.
- ✓ Aşınma deney sonuçları incelendiğinde B₄C’nin ilavesi ve sıcaklığın artmasıyla çökeltilerin oluşumu aşınma kaybını azaltmıştır.
- ✓

Deney sonuçları incelendiğinde üretimde basıncın 500 MPa ve sinterleme sıcaklığının 700 °C seçilmesi önerilmektedir.



5. KAYNAKLAR

- [1] Uraylı Ç, 2018. Cu-B₄C Kompozit Malzemelerdeki Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması. Yüksek lisans tezi, Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kastamonu.
- [2] Uzun M, Münis MM, Usca UA, 2018. Farklı oranlarda CrC partikül takviyesi kullanılarak toz metalürjisi yöntemiyle üretilmiş Cu matrisli kompozit malzemelerin mikroyapı ve sertlik özelliklerinin incelenmesi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 22(2): 495-501
- [3] Shalash BT, Mosawi AL, 2017. The Synthesis and Properties of Advanced Aluminium and Copper Based Metal Matrix Composites. Doctor of Philosophy -Integrated, University of Wollongong Australia Faculty of Engineering and Information Sciences, Avustralya
- [4] Başcı ÜG, 1999. Al₂O₃ Partikül Takviyeli Al-Cu Esaslı Metal Matrisli Kompozit Malzeme Üretimi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [5] Şap S, Değirmenci Ü, Usca ÜA, Uzun M, 2021. Hibrit Takviyeli Bakır Matrisli Kompozitlerin Üretimi ve Mekanik Özellikleri Üzerine Bir Derleme. Bingöl Üniversitesi, Teknik Bilimler Dergisi, 2: 35-46.
- [6] Şap E, Uzun M, 2020. T/M İle Üretilen Co-Mo Takviyeli Cu Matrisli Kompozitlerin Mikroyapı Ve Sertlik Özelliklerinin Araştırılması. II. Uluslararası Malatya Uygulamalı Bilimler Kongresi, 10-12 Nisan 2020, Malatya, s: 24-31.
- [7] Karabulut H, 2011. Toz Metalürjisi Yöntemiyle Al₂O₃, SiC Ve B₄C Takviyeli Al Matrisli Kompozit Üretiminde Mekanik Alaşımlama Süresinin Kompozit Özelliklerine Etkisi. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [8] Patir A, 2014. AA2024-B₄C Kompozitlerin Özelliklerine Yaşlandırma Parametrelerinin Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- [9] Işık E, 2014. SiC Takviyeli Al-12Si Matrisli Kompozitin Toz Metalürjisi Yöntemiyle Üretimi Ve Aşınma Davranışının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [10] Kaya Aİ, 2016. Kompozit malzemeler ve özellikleri. Putech & Composite Poliüretanve Kompozit Sanayi Dergisi, 29: 38-45.
- [11] Fidan, S. (2011). Polimer matrisli kompozitlerin darbe davranışlarının incelenmesi ve oluşan hasarların mikro tomografi yöntemiyle incelenmesi. Doktora tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.

- [12] Polat B, 2019. Cam Takviyeli Polimer Matrisli Termoplastik Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, İskenderun Teknik Üniversitesi mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, İskenderun.
- [13] Akbulut H, Durman M, 1995. SiC partikül takviyeli Al-Si metal matrisli kompozitlerin santrifüj dökümü. 8 Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, İstanbul, s: 687-692.
- [14] Karadağ HB, 2012. Çelik/Bronz Talaş Kompozitin Üretimi ve Mekanik Özellikleri. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Konya.
- [15] Şanlı P, 2019. Farklı Oranlardaki Takviye Elemanlarıyla Katkılandırılmış Metal Matrisli Kompozit Malzemelerin Toz Metalurjisi Yöntemi İle Üretimi ve Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
- [16] Koçer T, 2002. Basınçlı İnfiltrasyon Yöntemiyle Üretilen Al₂O₃ ve SiC Partikül Takviyeli Al-Mg Metal Matrisli Kompozitlerin Aşınma Davranışlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [17] Sasikumar S, Ramkumar KR, Iniyan S, Gowthaman M, Sivasankaran S, 2014. Study of Mechanical and Machining Behavior of AA 7075-3%TiB₂ InSitu Composite, Jirset, 3: 2347 – 6710.
- [18] Rajaravi C, Lakshminarayanan PR, Niranjana K, 2016. Finite Element Modeling Analysis on In-Situ Al/TiB₂ Metal Matrix Composites, Indian Journal of Science and Technology, 9 (36): 0974 – 6846.
- [19] Pul M, 2010. Al Matrisli MgO Takviyeli Kompozitlerin İnfiltrasyon Yöntemi ile Üretilmesi ve İşlenebilirliğinin Değerlendirilmesi. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [20] Aziz K, 2004. Aluminum Oxide and Titanium Diboride Reinforced Metal Matrix Composite and Its Mechanical Properties. master's thesis, The Graduate School of Natural And Applied Sciences of Middle East Technical University, Ankara.
- [21] Bülbül B, 2020. Al-Ni/Go ve Al-Ni/TiO₂ Metal Matrisli Kompozit Malzemelerin Üretilmesi ve Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Batman.
- [22] Yöntem O, 2019. Toz Metalurjisi ile Üretilen Alüminyum Matrisli Kompozitlerde Bor Minerali İlavesinin Mekanik Özelliklere Etkisinin Deneysel Tasarım Yöntemleri ile İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- [23] http://www.wilsonsmetals.com/datasheets/view/Wilsons-Ltd_Copper-and-Copper-Alloys-Introduction-to-Copper-and-its-Alloys_68.pdf (Erişim tarihi: 22.06.2022).

- [24] https://www.copper.org/resources/properties/microstructure/cu_tin.html (Erişim tarihi: 23.06.2022).
- [25] Elçi C, 2019. Optimization of Oxide Additives in Boron Carbide Powders Using Precipitation Method. Master's Thesis, İzmir Institute of High Technology Engineering and Science, İzmir.
- [26] Panda A, Dobránsky J, Jančík M, Pandová I and Kačalová M, 2018. Advantages and Effectiveness of the Powder Metallurgy in Manufacturing Technologies. *Metalurgija*, 57(4): 353-356.
- [27] Khalifa SKR, 2021. Additional Effect of AlC on The Wear Properties of Non-Alloy Steels Manufactured by Powder Metallurgy. Master's Thesis, Karabuk University Institute of Graduate Programs, Karabuk.
- [28] Meignanamoorthy M, Ravichandran M, 2018. Synthesis of Metal Matrix Composites via Powder Metallurgy Route. *Mechanics and Mechanical Engineering*, 22(1): 65-75.
- [29] <https://www.nuclear-power.com/nuclear-engineering/metals-what-are-metals/failure-modes-of-materials/wear/wear-types-classification-and-differences> (Erişim tarihi 24.06.2022).
- [30] <https://www.tribonet.org/wiki/abrasive-wear> (Erişim tarihi 24.06.2022)

ÖZGEÇMİŞ

İlköğretimini [REDACTED] İlköğretim Okulunda, liseyi [REDACTED] Lisesinde bitirdi. 2009 yılında [REDACTED] Teknik Eğitim Fakültesi Metal Öğretmenliği bölümünden mezun oldu. 2016 yılında Tunceli Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği bölümünden mezun oldu. 2018 yılında [REDACTED] Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. Halen aynı bilim dalında yüksek lisans eğitimine devam etmektedir.

Mevlan YÜREK

